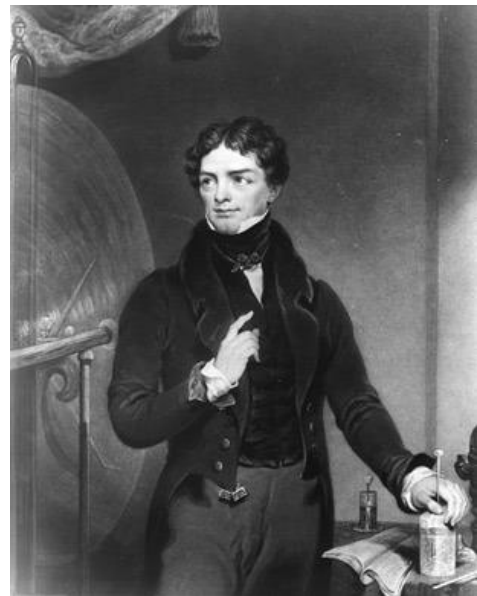


Vývoj diód a tranzistorov

Diódy

Vákuové diódy (Thermionic) a diódy polovodičové boli vyvinuté ako samostatné výsledky viacerých vedcov a kolektívov, ktorí sa na ich vývoji podieľali. Prvý polovodičový efekt zaznamenal v roku 1833, anglický prírodovedný filozof Michael Faraday. Ten zistil, že elektrická vodivosť sa v sulfidu striebornom so stúpajúcou teplotou zvyšuje. Tento efekt, ktorý je typický pre polovodiče, je opakom meraných hodnôt u kovov, ako je napríklad meď, kde sa vodivosť znižuje s rastúcou teplotou. Tento jav zaznamenal v kapitole nazvanej „O správaní sa vo všeobecnosti“ vo svojej knihe „Experimentálne výskumy v oblasti elektrickej energie“, v ktorej poznamenal: „nedávno som sa stretol s mimoriadnym prípadom, ktorý je v priamom kontraste s vplyvom tepla na kovové telesá. Pri použití plynovej lampy sa vodivá sila rýchlo dvíhala s teplom. Pri odložení lampy sa pri klesaní teploty účinky zmenili.“ V dnešnej dobe už vieme, že zvýšením teploty väčšina polovodičov zvyšuje hustotu nosičov nábojov ich vnútri a tým aj stúpa vodivosť. Tento efekt sa používa na výrobu termistorov a špeciálnych odporov, ktoré vykazujú pokles elektrického odporu (zvyšujú vodivosť) so zvýšenou teplotou.



V roku 1873 Frederick Guthrie poznamenal, že uzemnená guľička zohriata do biela, ktorá sa priblíži k elektroskopu, vypudí pozitívne nabitý elektroskop, ale záporne nabitý elektroskop zostane bez pohybu. Na obrázku je Frederick Guthrie (1833 – 1886). V roku 1874 nemecký fyzik Ferdinand Braun ako 24 ročný absolvent berlínskej univerzity, študoval vlastnosti elektrolytov a kryštálov, ktoré vedú elektrickú energiu na univerzite Würzburgu. Keď skúmal kryštál galenitu (sulfid olova) s pripojením na tenký kovový drôt, Braun poznamenal, že prúd tečie voľne len v jednom



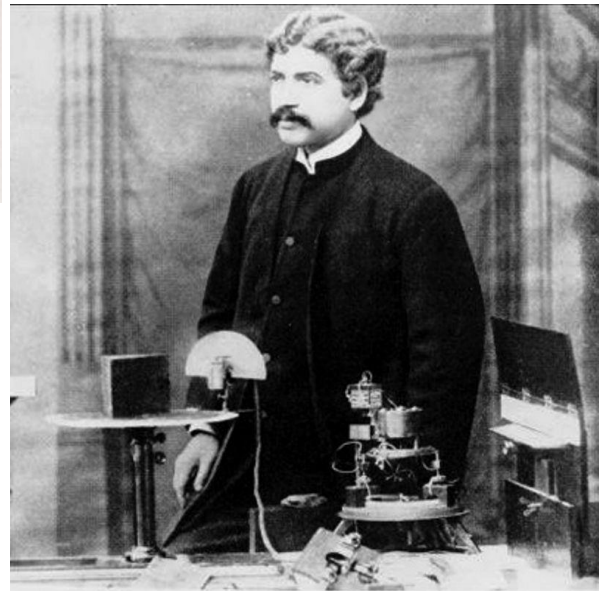
smere.

Objavil účinok v mieste styku kovov s určitými kryštálovými materiálmi. Braun demonštroval toto polovodičové zariadenie pred publikom v Lipsku 14. novembra 1876, ale nenašiel pre svoj objav žiadnu vhodnú aplikáciu. Aplikácia jeho objavu prišla až s príchodom rádiatelegrafie a rozhlasu, kde bol použitý ako detektor signálu.



V roku 1880 William J. Hammer, ako asistent Thomasa Edisona v jeho laboratóriu v Melo Parku v New Jersey spozoroval modrú žiaru okolo kladného pólu a zatemnenie drôtu na zápornom póle elektrickej žiarovky. Pôvodne ho nazývali „Hammer’s Phantom Shadow“, ale jeho zamestnávateľ premenoval tento fenomén na „Edison effect“, keď patentoval žiarovku v roku 1883. Aj Edison nenašiel žiadnu vhodnú aplikáciu pre tento objav.

Asi po dvadsiatich rokoch John Amrose Fleming si uvedomil, že Edisonov efekt by mohol byť použitý ako rádiový detektor.



Fleming patentoval prvú skutočnú termionickú diódu v Británii 16. novembra 1904 a neskôr získal i americký patent US 903 684 v novembri 1905. Počas celej doby elektrónok sa vákuové diódy používali takmer vo všetkých elektronických zariadeniach akými boli: rádioprijímače, televízory, audio zosilňovače a iné prístroje. Koncom 40. rokov 20. storočia začali postupne strácať na trhu svoje dominantné miesto, keď sa začala uplatňovať schopnosť selénu na výrobu selénových usmerňovačov a v 60. rokoch sa začali presadzovať polovodičové diódy. Vákuové diódy sú stále používané v niektorých aplikáciách s vysokým výkonom, kde sa využíva ich schopnosť odolávať prechodovým zmenám napätia a ich robustnosti, ktoré sú odolnejšie ako polovodičové diódy.

Jagadis Chandra Bose profesor fyziky na vysokej škole v Kalkate v Indii preukázal použitie kryštálov galenitu s bodovým kovovým kontaktom na detekciu milimetrových elektromagnetických vln v roku 1894. V roku 1901 si podal o americký patent na bodový kontakt polovodičového usmerňovača na detekciu rádiových signálov.

Greenleaf Whittier Pickard (14.2.1877 – 8.1.1956) vynášiel kryštálový detektor do praktického využitia v zariadení bezdrôtového telegrafu v roku 1903. Narodil sa v Newton v štáte Massachusetts a ako čerstvý absolvent Massachusetts Institute of Technology odišiel do observatória Blue Hill. Tu vykonával výskum zloženia horných vrstiev atmosféry, keď boli Blue Hill požiadaný zo Smithsonian Institute o vykonanie experimentov, ktoré by ukázali vplyv výšky na bezdrôtový prenos. Pickard bol takto nasmerovaný na bezdrôtový prenos a v nasledujúcich rokoch ho Americká telefónna a telegrafná spoločnosť (AT & T) požiadala o pomoc pri rozvíjaní bezdrôtového telefónu v ich laboratóriu. A bolo to v kanceláriách v Bell Telephone Company – Milk Street Boston, kde 2. 9. 1902 Pickard predviedol vlastný

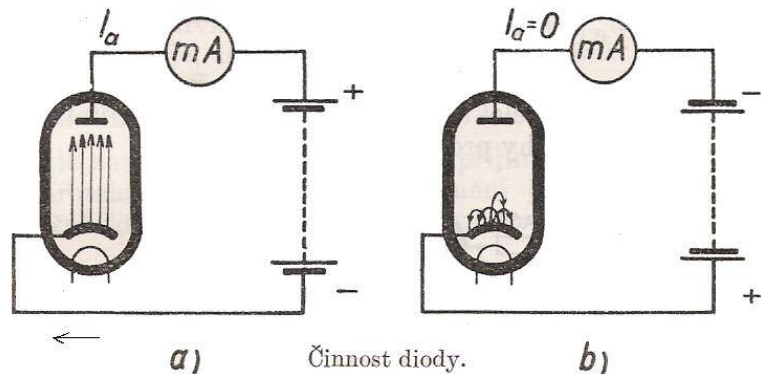
primitívny divne koncipovaný vysielateľ, o ktorom sa hovorí, že „Ako sa máš?“, bola prvou vetou, ktorú vysielali v rádií a na prekvapenie s dobrým tónom a moduláciou. Bol úspešným zlepšovateľom v rannom období bezdrôtovej telegrafie. Medzi rokmi 1902 až 1906 robil testy tisícok vzoriek minerálov na posúdenie ich rektifikačných vlastností. Kremíkové kryštály z Westinghouse priniesli jedny z najlepších výsledkov. Bol aj technickým poradcom de Forest Company, ktorá zabezpečovala vysielanie. V tej dobe bol v prevádzke používaný tekutý detektor a spoločnosť de Forest Company bola obžalovaná spoločnosťou, ktorá vlastnila tento patent a hrozilo ukončenie výroby prijímačov. Pickard vynášiel detektor z kremíkových kryštálov, na ktorý si podal patent 30. 8. 1906 a udelený mu bol 20. 11. 1906. Počas jedného nastavovania detektora zabudol, že vybral zo zariadenia batérie s úmyslom ich vyčistiť, ale bol nespokojný, lebo prijímal stále slabé signály ale jasné. K svojmu úžasu zistil, že zariadenie prijíma signály aj bez batérie. Teda prijímač bol napojený iba energiou z antény. V tom čase nik neveril, že takáto vec je možná. Dňa 10. 6. 1907 podal patent na „magnetickú anténu“ (slučkovú), ktorý mu bol udelený 20. 1. 1908. Jeho anténa mala dobré smerové vlastnosti, ktoré mali znížiť rušenie pri bezdrôtovej komunikácii. Dňa 21. 6. 1911 podal patent na kryštálový detektor, ktorý obsahoval



pružinový drôt, ktorý bol vytvarovaný do špirály a smeroval ku kontaktu s kryštálom. Kryštálové detektory tejto konštrukcie sa stali najpoužívanejšie a boli populárne pod prezývkou „mačací fúz“. Tento patent mu bol udelený 21. 7. 1914. Pickard sa stal v roku 1913 prezidentom „Inštitútu rádiových inžinierov“. Spolu dvoma spolupracovníkmi založil spoločnosť Wireless Apesialy Apparatus Company na výrobu kryštálových detektorov. Bola to pravdepodobne prvá spoločnosť, ktorá vyrábala a predávala polovodičové zariadenia z kremíka na obrázku.

Mnoho ďalších vynálezcov experimentovalo s alternatívnymi materiálmi. Henry Dunwoody dostal patent na detektor z karbidu kremíka iba dva týždne po Pickardovi. Wichi Torikata z elektrotechnického laboratória ETL získal

japonský patent s číslom 15345 pre detektor z minerálnych látok v roku 1908. V roku 1922 – 1923 použil Oleg Losev z Leningradu kryštálové



usmerňovače z karbidu kremíka pre zapojenie do zosilňovačov a oscilátorov pracujúcich až do frekvencie 5 MHz. I napriek tomu, že kryštálové usmerňovače umožňovali zhotovenie jednoduchých rádiových prijímačov a pracovali bez externého napájania, začali ich od polovice 20. rokov 20. storočia v rádiových aplikáciách nahrádzať vákuové diódy a zosilňovacie elektrónky, ktoré získali význam kvôli svojej schopnosti pracovať na vyšších frekvenciách.

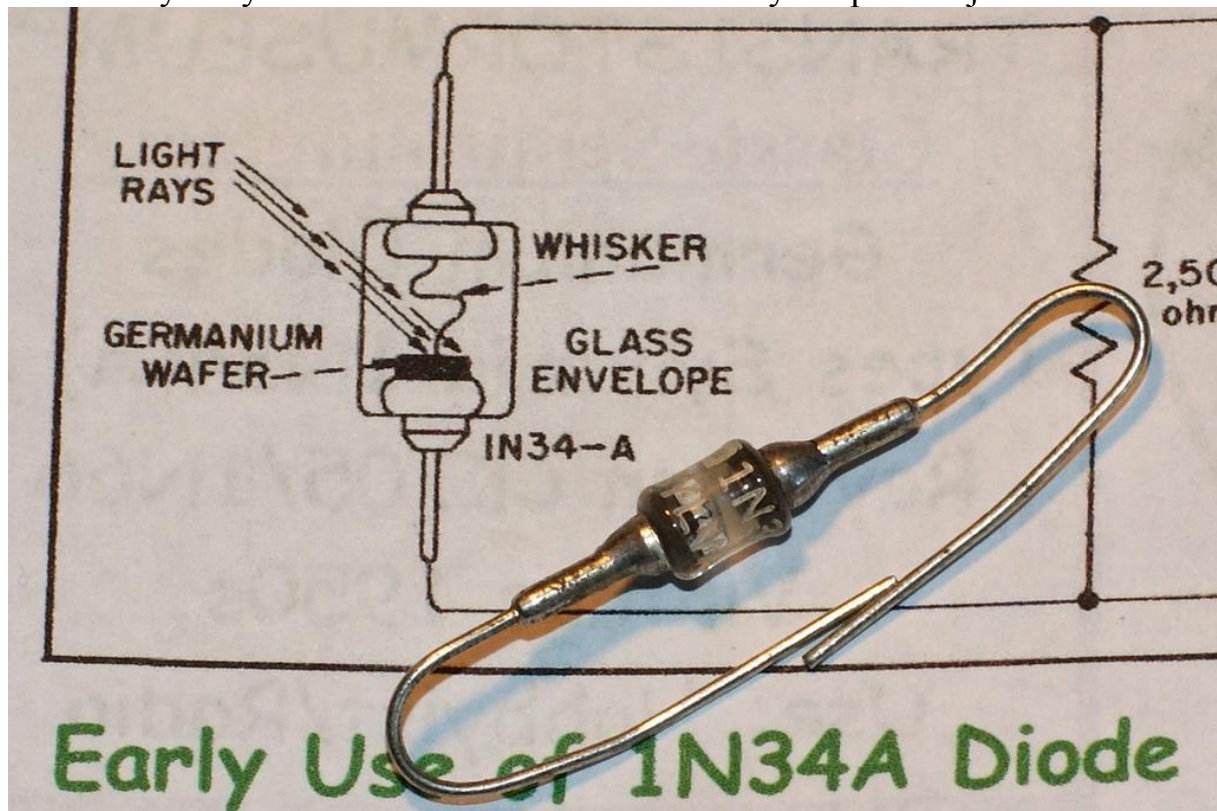
Vákuová dióda pozostáva z utesnenej sklenej banky alebo kovového plášťa obsahujúcej dve elektródy: Katódu a anódu. Katóda môže byť zohrievaná priamo alebo nepriamo. Ak používa nepriame zohrievanie, tak obsahuje ešte žeraviace vlákno samostatne napojené na nízke napätie. Počas prevádzky sa priamo žeravená katóda zohreje na teplotu 800 až 1000 °C a je vyrobená z volfrámového drôtu a prúd prechádza cez externý zdroj prúdu. Prevádzková teplota katódy spôsobuje uvoľnenie elektrónov do vákua a tento proces sa nazýva „termionické vyžarovanie“. Katóda je potiahnutá oxidom z kovov alkalických zemín, ako napríklad bárium a stroncium. Tieto emitujú elektróny už pri nižšej teplote. Anóda, ktorá sa nezohrieva a nevydáva elektróny, ale je schopná ich absorbovať. Striedavý prúd, ktorý sa má usmerniť, sa aplikuje medzi katódou a anódou. Keď je napätie anódy kladné voči katóde, anóda elektrostaticky priťahuje elektróny z katódy, teda tok elektrónov prúdi cez diódu

z katódy na anódu. Ak je anóda napojená na záporné napätie voči katóde, tak sa neemitujú žiadne elektróny a z katódy neprúdi na anódu žiadny prúd.

Hrotové polovodičové diódy

Ďalší experimentátori skúšali ako detektory zhotovené z rôznych iných materiálov a kryštálov ale zásady polovodičov nepoznali. Až počas 30. rokov výskumníci v Bell Laboratories Telephon rozpoznali potenciál detektora kryštálov pre aplikáciu v mikrovlnnej technológii. Výskumníci v Bell Labs, Western Electric, MIT, Purdue a v Spojenom kráľovstve intenzívne pracovali na vývoji hrotovej diódy (kryštálovej diódy) počas II. svetovej vojny potrebných na aplikovanie v radaroch. Po roku 1919 sa ustálil termín dióda z gréckych slov „di“, čo v preklade znamená dva a slova „oda“ čo znamená cesta.

Po II. svetovej vojne ich spoločnosť AT & T používala vo svojich mikrovlnných vysielateľoch a mnohé radarové súbory ich používajú i 21. storočí.



V roku 1946 spoločnosť Sylvania uviedla na trh germániovú hrotovú diódu 1N34 s maximálnym napätím do 60 voltov a s prúdom 5 mA. Veľkosť diódy je 19 x 7 mm. Hrotová dióda je vhodná ako vysokofrekvenčná do prijímačov. Dióda je dvojpólová elektronická súčiastka, ktorá umožňuje prúdu ľahko prúdiť jedným smerom a súčasne vykazuje vysoký odpor v opačnom smere. Diódy okrem použitia vo vysokofrekvenčných obvodoch rádioprijímačov, vykonávali širokú škálu funkcií v počítačoch. V roku 1950 použili v počítači SEAC 10500

kusov germániových hrotových diód a bol to prvý počítač, ktorý bol osadený polovodičovými súčiastkami. V následných rokoch boli použité ako pamäťové prvky. Pôvodne sa nazývala ako usmerňovač pre svoju schopnosť konvertovať striedavý prúd na jednosmerný. O jeho názov „dióda“ sa zaslúžil anglický fyzik William Henry Eccles, ktorý použil koreň gréckeho slova di – óda, skrátená forma slova „electródy“, ktorý vytvoril Faraday z gréckeho slova „elektron“, z ktorého odvodzuje slovo elektrina a slovo „hodos – cesta alebo spojenie. General Electric vyrábala germániové diódy pod názvom G5 ale zaregistrované boli podľa RMA v júni 1948 pod označením 1N48. Postupne podnikové označenia G5A, G5B, G5C a G5D zodpovedali označeniu 1N49 až 1N51. V roku 1950 nasledovali G5e (1N63), G5G (1N65) a G5F (1N64). V roku 1950 boli vyrobené hermeticky uzatvorené keramické puzdra pod označením G5K, G5L a G5p (1N69, 1N70 a 1N81). V roku 1951 boli ponúknuté typy 891B a 1016. Tieto diódy boli určené pre detekciu do vstupných obvodov VHF a neskoršia séria G6 a G7 už bola ponúknutá na aplikácie pre UHF pásmo.

Spoločnosť Raytheon v roku 1948 sa oboznámili s polovodičovými diódami v Bell Labs a prijali Lowell Pelfrey od spoločnosti Sylvania i s jeho „know how“ na polovodičovú technológiu. Raytheon popri výrobe elektrónok a televíznych obrazoviek začal s 15 zamestnancami výrobu germániových hrotových diód a už v roku 1949 vyprodukoval 20 až 30 tisíc kusov .

V roku 1950 bola výroba zvýšená na jeden milión kusov za rok. Raytheon sa stal druhým najväčším producentom po Sylvania, ktorý bol prvý v predaji komerčnej hrotovej diódy pod označením 1N34.

Polovodičové súčiastky mali v tom čase ešte menší podiel vo výrobe súčiastok. Raytheon vyrába komerčne dostupný rad určený na prevádzku až do frekvencie 1000 MHz. Tieto germániové diódy sú najmenšie na trhu a sú vhodné na prevádzku v náročných podmienkach s vysokou teplotou a vlhkosťou. Na obrázku je hrotová dióda G5

v predaji známa pod názvom 1N48 z roku 1948. Raytheon začal výrobu hrotových diód typu CK 705 a v roku 1952 už uvádzala typy CK 707, CK 708 a CK 710. Prvé diódy CK 705 boli v puzdre z kovovej rúrky s drôtovými vývodmi izolované skleneným uzáverom. Čoskoro sa zistilo, že diódy po určitom čase vykazujú zhoršené vlastnosti, ktoré boli spôsobené vlhkosťou. Hodnoty hrotovej diódy CK 705 sú: napätie 60 voltov, prúd 50 mA a CK 708 mala hodnoty napätie 100 voltov a 35 mA. Veľkosť diódy je 10 x 5 mm. Na obrázku je hrotová dióda CK 705.



Germániové hrotové diódy vyrobené v ČSR.

Keď sa rozhlas postupom času rozvíjal, rástli i nároky poslucháčov a staré kryštálové prijímače už prestali vyhovovať, lebo elektrónky dokázali spoľahlivejšie zosilniť signál a výstupný signál zosilniť natoľko, že sa mohol na koncový stupeň pripojiť reproduktor miesto slúchadiel. Kryštálový detektor ustúpil na niekoľko rokov úplne do pozadia s výnimkou začínajúcich rádioamatérov, ktorí si nejaký ten kryštálový prijímač postavili. Kryštál sa objavil behom II. sv. vojny v novej zdokonalenej forme a prenikal do mnohých odvetví elektrotechniky s ďaleko širšími možnosťami použitia, aké mali pôvodné kryštálové detektory. Vznik kryštálovej diódy bol veľmi dlhý a ťažký. Veľká časť štátov, ktoré boli vtiahnuté do II. sv. vojny hľadala behom vojny nový detektor pre centimetrové vlny na použitie v špeciálnej technike. Dnešné komerčné typy kryštálových diód svojim vzhľadom vôbec nepripomínajú staré

detektory s veľkým kryštálom leštenca olovnatého (sírnika olovnatého), na ktorom najzručnejší člen rodiny hľadal najcitlivejšie miesto na povrchu leštenca a pri najmenšom otrase mohol túto činnosť opakovať. Kryštálová dióda je malá skromne vypadajúca sklenená trubička, z ktorej na oboch koncoch vyčnievajú drôty. Kryštál je zo vzácneho prvku germánia špeciálne pre tento účel pripraveného a volfrámový drôtik sa dotýka kryštálu trvale v mieste, kde je už pri výrobe nastavené a zaistené, takže odpadá hľadanie vhodného miesta a ani pádom a otrasom sa elektrické vlastnosti diódy nemenia. Úspešné zavedenie tejto novej technológie do hromadnej výroby je ďalším úspechom mnohých vedcov, inžinierov a technikov.



Na obrázku je hrotová dióda 1NN41 z roku 1954. Kryštálové diódy, ktoré sú zhotovené z kryštálu germánia majú celý rad veľmi dôležitých výhod, ktoré ich predurčujú pre široké uplatnenie. Zo základných vlastností je to predovšetkým malá spotreba materiálu, možnosť hromadnej výroby s minimálnym počtom nepodarkov, malá hmotnosť, otrasu vzdornosť a možnosť spájania vývodov priamo do obvodov bez použitia matíc. Z elektrických vlastností je nutné zdôrazniť predovšetkým to, že germániová dióda nepotrebuje žeraviace napojenie, oproti vákuovej dióde a pri usmernení nižších napätí je účinnejšia a má väčšiu životnosť. Ako každá nová vec, má i germániová dióda svoje nevýhody oproti vákuovým diódam, a to najmä závislosť na teplote, priepustnosť minimálnych spätných prúdov, nerovnomernú usmerňovaciu charakteristiku, ktorá sa líši takmer u každej diódy. Na odstránení týchto nedostatkov pracujú tímy vedcov a budú sa snažiť znižovať tieto nedostatky, na čo najnižšiu mieru.

Germánium, ktoré sa používa k výrobe kryštálových diód, musí byť neobyčajne čisté. Obsah niektorých škodlivých prvkov nesmie prekročiť určitú hranicu, lebo inak by sa stal nepoužiteľný. Prvou úlohou je zbaviť v chemických laboratóriách surové germánium, ktoré dodávajú chemické továrne všetkých prímiesí a nečistôt. Germánium musí prejsť celou radou zložitých chemických procesov, kde je postupne zbavované všetkých škodlivých prímiesí.

Pri celom chemickom procese sa musí zachovávať priam sterilná čistota. Všetky nádoby, banky, umývačky a trubky sa musia často umývať a vyvárať v kyselinách alebo luhoch a vyplachovať vodou dvakrát destilovanou. Časti aparatury, s ktorými príde do styku germárium, nesmú byť vyrobené z bežného skla, ale na tento účel sa používa čisto kremenné sklo, lebo bežné sklo by mohlo germárium znečistiť. Z chemického laboratória vychádza základná surovina pretvorená na malý, lesklý germániový ingot, ktorý je už vhodný pre výrobu. Možno pripomenúť, že takmer čisté germárium je veľmi špatný vodič elektriny, ale stačí nepatrné množstvo určitých prvkov, aby sa germárium stalo pomerne dobrým vodičom, preto sa v germánium niektoré vhodné prvky ponechajú. Ak sa dotknete takto pripraveného germánia ostrým hrotom, prechádza prúd z hrotu do germánia, ale v opačnom smere takmer neprechádza. Toto je významná a základná vlastnosť germánia a v nej spočíva celý princíp germániových hrotových diód.

V dielni prichádza germániový ingot najskôr na rezací stroj, kde je rozrezaný na malé štvorcové doštičky, a z nich sa každá stane základom jednej germániovej diódy. Oproti germániovej doštičky je odpružený volfrámový hrot, vyrobený z tenkého volfrámového drôtu. Tento drôtik esovito ohnutý a doštička sa prispájkujú na vývodové drôty, ktoré sa vsunú každý z jednej strany do puzdra. Puzdro je vytvorené zo sklenenej trubičky, ktorých konce nakoniec zatavia spolu s vývodmi. Pred konečným zatavením prichádza najdôležitejšia a najcitlivejšia operácia. Nastavenie a formovanie, ktoré sa prevádza automaticky na zvláštnych prístrojoch. Pri nastavovaní je nutné nájsť na germániovej doštičke vhodné miesto a nastaviť správny tlak hrotu, aby boli dosiahnuté žiadané elektrické vlastnosti. Po nastavení nasleduje formovanie, ktoré sa prevádza tak, že diódou prechádzajú krátke, ale intenzívne impulzy elektrického prúdu. Týmto formovaním možno elektrické vlastnosti diód značne zlepšiť. Pri tejto práci okrem kvalitných prístrojov je potrebná aj dostatočná zručnosť pracovníčok, lebo formovaním možno elektrické vlastnosti aj podstatne zhoršiť, prípadne zničiť diódu. Nastavená a sformovaná dióda sa konečne zataví. Nasledujú povrchové úpravy, značenie diód podľa typu, prejde ešte konečnou výstupnou kontrolou a nasleduje balenie hotového produktu. Hrotové diódy 1NN41 a 1NN40 sú vysokofrekvenčné usmerňovacie s prúdovým zaťažením 15 mA s napätím do 20 V, s vlastnou kapacitou asi 1pF. Dióda má najvyšší pracovný kmitočet 100 MHz pri teplote 20 °C. Nasledovali typy 2NN41, 2NN40 a 3NN41, 3NN40 pre všeobecné použitie do 50 a 60 voltov s prúdom do 15 mA. Hrotové diódy sa oproti hrotovým tranzistorom používajú i v súčasnosti.

Hrotové diódy boli začiatkom v aplikovaní polovodičov do komerčného používania, ale cesta k preskúmaniu polovodičov nebola vôbec jednoduchá.

Alan Wilson používa kvantovú mechaniku na vysvetlenie základných vlastností polovodičov a o sedem rokov neskoršie Boris Davidov, Nevill Mott a Walter Schottky, nezávislo na sebe vysvetľujú ich základ. Pre názov polovodič Nemci používali slovo „halbleiter“, ktoré sa po prvýkrát použilo v roku 1911 na opis materiálov s elektrickou vodivosťou medzi kovmi a izolátormi. Ale skutočné vysvetlenie správania sa polovodičov dlho nik nevysvetlil. Až v roku 1931 sa fyzik Wolfgang Pauli vyjadril, že „nik by nemal pracovať na polovodičoch, lebo sú to nečisté materiály, a ktovie, či vôbec existujú polovodiče?“ Práve počas toho istého roka sa počas práce na inštitúte Wernera Heisenberga v Lipsku, fyzik na univerzite Cambridge Alan Wilson uviedol kvantovú teóriu pevných látok, ktorú vyvinuli Felix Bloch a Rudolf Peierls, aby vytvorili model správania polovodičov. V dvoch článkoch s názvom „Teória elektronických polovodičov“ navrhol, aby ich zvláštne vlastnosti boli spôsobené prítomnosťou atómov nečistôt v inak čistých kryštáloch týchto materiálov. V roku 1932 sa Wilson tiež snažil vysvetliť jednosmerný tok prúdu v bodovom kontaktnom usmerňovači z roku 1874 ako kvantovo – mechanický tunel z kovu a polovodiča alebo opačne. Ale spolu s podobnými pokusmi iných vedcov na začiatku 30. rokov jeho



vysvetlenie sa nakoniec ukázalo ako nesprávne. Uspokojivé vysvetlenia sa nakoniec objavili v roku 1938. Boris Davidov vo Fyzikálno – technickom inštitúte Ioffe v Ruskej akadémii vied v Leningrade, Nevill Mott na Bristolskej univerzite v Anglicku a Walter Schottky zo Siemens a Halske v Mníchove v Nemecku, nezávislo pripisovali tento fenomén na koncentráciu elektrónov na povrchu polovodičov, ktoré vytvárajú asymetrickú bariéru prúdu.

V polovici 30. rokov 20. storočia, začal skúmať používanie kremíkových usmerňovačov ako radarových detektorov Russell Ohl, elektrotechnik v Bell Labs v Holmdel v New Jersey. Zistil, že zvyšovanie čistoty kremíka pomohlo zlepšiť ich detekčnú schopnosť. Dňa 23. 2. 1940 testoval malú kremíkovú doštičku, ktorá priniesla podivné a prekvapujúce výsledky. Keď bola doštička vystavená silnému svetlu, prúd, ktorý pretekal cez kremíkovú dosku, značne

vyskočil. Všimol si tiež, že rôzne časti kryštálu priniesli iný elektrický efekt. Ohl a jeho kolega Jack Scaff zistili, že delenie na doske označuje oddelenie kremíka od oblasti obsahujúcej odlišné druhy nečistôt.



Jedna nečistota, prvok fosfor, priniesol vo vzorke mierny nadbytok elektrónov, zatiaľ čo druhý, bór, prispel k miernemu nedostatku (neskôr sa tento jav pomenoval ako diery). Dnes nazývame tento objav ako oblasť N – typu (negatívna) a oblasť P – typu (pozitívna) na povrchu alebo „bariéra“, kde sa tieto regióny stretli sa stali známymi ako prechod PN. Svetlo zasiahnuté tento spoj stimulovalo elektróny, aby prúdili z N – strany na stranu P, čo viedlo k elektrickému prúdu. Ohl objavil v roku 1954 fotovoltaiický efekt, ktorý nazývame solárne články. William Shockley použil koncepciu Ohl z roku 1940 pre svoj plošný tranzistor (junction transistor) v roku 1948. PN prechod sa stal najbežnejšou formou usmerňovača používaného v elektronickom priemysle a odvtedy sa stala základným stavebným kameňom pri konštrukciách

polovodičových súčiastok. Polovodičová technológia zažila obrovský skok dopredu počas druhej svetovej vojny, pretože radarové prijímače vyžadovali polovodičové usmerňovače na detekciu a konverziu mikrovlnných signálov na frekvenciách vyšších, ako je v možnostiach vákuových diód. Kremík a germánum sa objavili ako dominantné polovodičové materiály v dôsledku vojnového výskumu a vývoja. Po priekopníckej práci s kremíkom Russella Ohl z roku 1941, začali vedci na univerzitách a firmách vo Veľkej Británii a USA pracovať na dokonalejšom čistení oboch prvkov a techniku dopovania s vybranými prvkami, aby dosiahli požadované vlastnosti polovodičov. Milióny kryštálových usmerňovačov s kovovým bodovým kontaktom s malým kúskom kremíka a germánia vo vnútri súčiastky bolo vyrobené pre potreby radarových prijímačov. Pod záštitou „Radiálneho laboratória“ spoločnosti MIT sa čistenie kremíka uskutočnilo hlavne na univerzite v Pensylvánii, ktorú viedli Frederick Seitz a Dupont Chemical Company. Na konci II. sv. vojny bol dostupný kremík s čistotou 99,999 %. Väčšina výskumu s germániom sa uskutočnilo na univerzite Purdue v Nemecku, pod vedením Karlom Larkom – Hrvitzom. V roku 1947 Walter Brattain položil dosku vysoko čistého germánia vyvinutého v Purdue na vytvorenie prvého hrotového tranzistora. Rozhodujúce boli tiež úsilia v Bell Labs v oblasti výskumov vedených Jack Scaff a chemika Henry Theurer, aby pochopili, ako rôzne nečistoty viedli k „n – polovodičom“ a prebytku elektrónov alebo nadbytočných dier. Pridaním menšieho množstva prvkov, ako je fosfor z piateho stĺpca periodickej tabuľky, do čistého kremíka alebo germánia získali materiál N – typu. Pridaním prvkov z tretieho stĺpca, akým je bór, im poskytlo získať polovodič „p – typ“.

Russell Ohl (30. 1. 1898 – 20. 3. 1987) je uznávaný americký inžinier, držiteľ patentu US 2 402 662 na solárny článok. Narodil sa neďaleko mesta Allentown v štáte Pensylvánia. Strednú školu Penn State ukončil v roku 1914 a potom nastúpil na Pennsylvania State College. Po ukončení štúdia v roku 1919 sa zamestnal v US Army Signal Corps a tu sa oboznámil s rádiovou technológiou. Potom opustil armádu a začal učiť na University of Colorado. Po dvoch rokoch opustil univerzitu a začal pracovať v spoločnosti AT & T v laboratóriu Bell Labs. Špeciálnym výskumom bolo správanie určitých druhov kryštálov a na riešení diódového detektora vhodného pre vysokofrekvenčné bezdrôtové vysielanie a vojenské radary. Jeho výskum a výsledky výskumu boli pochopené iba hŕstkou vedcov, z ktorých jeden Dr. Walter Brattain, jeden z trojice, ktorí v roku 1947 zhotovili prvý hrotový tranzistor. Ohl v roku 1939 objavil PN prechod. V tej dobe takmer nik nevedel o nečistotách v kryštáloch, ale Russell objavil mechanizmus, ktorým to fungovalo. Boli to nečistoty, ktoré spôsobili, že niektoré časti boli odolnejšie voči elektrickému toku ako ostatné a preto to bola „bariéra“, medzi týmito oblasťami s rôznou čistotou, ktorá spôsobila, že kryštál funguje.

Ohl neskôr zistil, že super čisté germárium bolo kľúčom k tomu, aby sa pre diódy vyrobil opakovateľný a použiteľný polovodičový materiál. Všetky diódy sú potomkami práce Ohl. Jeho práca s diódami ho neskôr priviedla k vývoju prvých solárnych článkov.



Na obrázku je spolu s mladším kolegom Jack Scaffom.

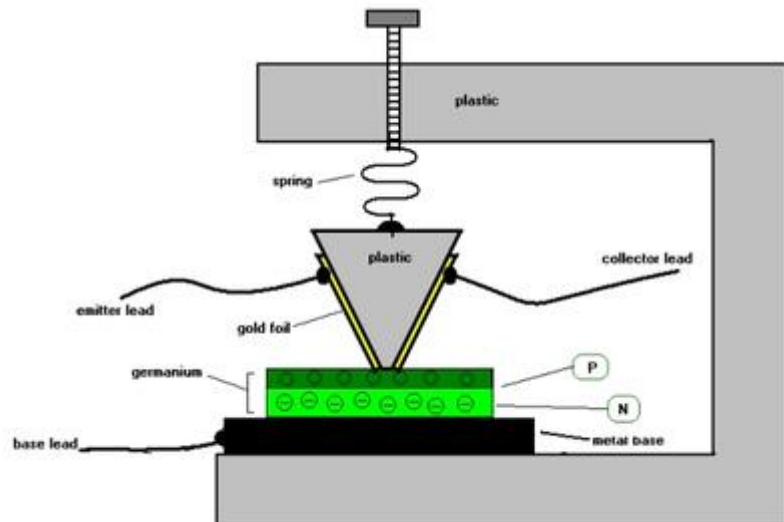
Povzbudený výkonným viceprezidentom Mervinom Kellym, William Shockley sa vrátil z vojnových úloh na začiatku roka 1945 do Bell Labs, aby začal organizovať skupinu na výskum fyzikálnych pevných látok. Okrem iného sa táto skupina zaoberala výskumom polovodičov na náhradu elektrónok a elektromechanických spínačov, ktoré sa potom používali v Bell Telephone System. V apríli 1945 koncipoval zosilňovač s pólom riadený prepínač založený na technológii germánia a kremíka, ktorá sa vyvinula počas II. sv. vojny, ale nepodarilo sa to sfunkčniť, ako bolo plánované.

Tranzistory

O rok neskôr teoretický fyzik John Bardeen naznačil, že elektróny na povrchu polovodiča môžu blokovat' prenikanie elektrických polí do materiálu a negovať akékoľvek účinky. S experimentálnym fyzikom Walterom Brattain, Bardeen začal skúmať správanie týchto „povrchových stavov“. Dňa 16. 12. 1947 ich výskum vyvrcholil prvým úspešným polovodičovým zosilňovačom. Položili dva zlaté kontakty veľmi blízko seba udržiavané na mieste klinom z plastu na povrchu malej dosky z vysoko čistého germánia. Napätie na jednom kontakte modulovalo prúd prúdiaci cez druhý a zosilňovalo vstupný signál až 100 násobne. Dňa 23. 12. 1947 demonštrovali svoj objav pracovníkom laboratória. Shockley to považoval za veľký Vianočný darček. Zariadenie pomenovali ako „Transistor“ podľa návrhu technika John Pierce z Bell Labs. Verejne bol prezentovaný na tlačovej konferencii v New Yorku 30. 6. 1948. Napriek jemnej mechanickej konštrukcii bolo v kovovom balení vyrobených veľa tisíc kusov hrotových tranzistorov typu A. Na obrázku je výkres prvého hrotového tranzistora z roku 1947.

V roku 1948 bol hrotový tranzistor nezávislo od seba vynájdený dvoma nemeckými fyzikmi pracujúcich v Paríži. Herbert Mataro a Heinrich Welker, ktorí boli počas II. sv. vojny

zapojení do nemeckého radarového vývoja. Mataro vyvinul kryštálové usmerňovače z kremíka a germánia v laboratóriu Telefunken v Berlíne a Sliezske, zatiaľ čo Welker pracoval na čistení germánia v Mníchove. Po skončení vojny, ich najala spoločnosť Compagnie des Freins at Signaux, dcérska spoločnosť Westinghouse, na vývoj a výrobu polovodičových usmerňovačov. V roku 1947 začal Mataro skúmať zvláštny fenomén nazývaný „interferencia“, ktorý počas vojny sledoval u germániových usmerňovačov. Bolo potrebné, aby boli dva bodové kontakty dostatočne blízko rozmiestnené vo vzdialenosti do 100 μm , potenciál jedného z nich by mohol ovplyvniť prúd pretekajúci cez druhý, podobne ako to videli Bardeen a Brattain. Začiatkom budúceho roka dosiahol Mataro sporadické zosilnenie elektrických signálov. Do júna 1948 získal konzistentné, reprodukovateľné výsledky s použitím vzoriek germánia vyrobených Welkerom s vyššou čistotou. Ale o mesiac neskôr sa dozvedeli prekvapivú správu, že v Bell Labs sa práve vynášiel podobný polovodičový zosilňovač.



Spoločnosť sa poponáhľala, aby dostala súčiastku nazvanú „transistron“ do výroby. V polovici roka 1949 sa ich vyrobilo tisíce a použili sa ako zosilňovače pre francúzsky telefónny systém. Jednoduché hrotové tranzistory nahradili čoskoro plošnými tranzistorami. Mataro sa vrátil do Nemecka a v roku 1952 založil spoločnosť „Intermetal“ na výrobu diód a tranzistorov. Welker sa pripojil k spoločnosti Siemens a nakoniec sa stal výskumným riaditeľom. Ma obrázku je vidieť röntgenovú snímku transistrona. Teraz si objasníme podrobnejšie celý vývoj tohto tranzistora.

V stredu 18. mája 1949, minister PTT bol prítomný na prezentácii transistrona PTT 601 spolu niekoľkými zariadeniami vybavenými s týmto tranzistorom v laboratóriu Service des Recherches et du

controle technicis (SRCT). Spolupráca na vývoji polovodičov vo Francúzsku v posledných rokoch medzi Administration des PTT a Societé des Freins et Signaux Westinghouse prinieslo podobné výsledky ako u Američanov. Vo Francúzštine by výraz tranzistora mohol byť ako „transistance“, ale tento doslovný preklad nevystihuje podstatu, a tak sa použil názov „Transistron“ zo slov „Résistance de transfert“ a prípona „tron“ znamená aktívne prvky ako



elektróny alebo ióny. V tom čase program Westinghouse viedol Henrich Welker a Herbert Mataro. Obaja boli prijatí z Nemecka po II. sv. vojne, ktorí zohrávali kľúčovú úlohu v nemeckom radarovom programe. Mataro pracoval v Telefunken na mikrovlnnom prijímači v laboratóriu a Welker na germániových bodových detektoroch v spoločnosti Siemens. Počas vojny pracoval Mataro na duo – dióde s nízkym šumom. Jeho experimentálne duo – diódy mali podobnú konštrukciu ako hrotový tranzistor. Dva bodové kontakty na jednom bloku z germánia umiestnené blízko seba. V roku 1946 Westinghouse navrhla vláde, aby sa začali práce na vývoji germániových a kremíkových kryštálových detektorov. Zmluva bola podpísaná v decembri 1946 a financovanie začalo v marci 1947 pre laboratóriá Service des Recherches et du Controle technicis, ktorý bol kontrolovaný ministerstvom pôšt a telekomunikácií (Postes telekomunitone et Tékédifusion) PTT. Vo Westinghouse mali Welker a Mátate vybavené laboratórium Aulnay – sous – Bois. Začiatkom roka 1948 boli na svete tri prototypy germániových detektorov a pripravenú výrobnú linku, ktorá mala mať kapacitu 3000 detektorov mesačne. Vyrábané detektory boli testované v ozbrojených silách a ich následné zlepšenie konštrukcie. Westinghouse nastavil výrobnú linku na 10 až 20 tisíc kusov detektorov mesačne. Mataro pracoval na praktickom využití Duo – diódy. V roku 1947 boli v návrhu dva kompozitné polovodičové vrstvy, vytvorené v dutinách jedného kovového držiaka, ktorý umožnil z kryštálu výrobu duo – diód. Na začiatku roka 1948 bol schopný dodať hrotový tranzistor s pravidelným zosilnením a výsledky boli predložené francúzskej vláde, ktorý bol patentovaný 13. 8. 1948. V prvej polovici roka 1949 bolo vyrobených 1000 hrotových tranzistorov. V roku 1952 bol predstavený tranzistor Westcrel typu – N v Salone National de la kus Détacheé v Paríži v štvor tranzistorovom prijímači s trojstupňovým nízkofrekvenčným zosilňovačom. Koncový stupeň produkoval 300 mW výkon s napojením na reproduktor.

V roku 1949 SRCT spustila polovodičový výskumný program a do jeho vedenia bol vymenovaný Imanuel Franke. Týmto spôsobom bol vytvorený program, aby sa stal hlavným vo výskume polovodičov vo Francúzsku v roku 1950. Franke bol prijatý z Nemecka na výskum hydrotermálnej syntézy kremeňa, strategicky dôležitého materiálu. Spočiatku spolupracoval s Welker a Mataro na F & S Westinghouse, ale v roku 1948, ale SRCT presťahoval Dr. Franke do laboratória v Réaumu, rue Dussoubs v Paríži. V rovnakom čase sa rušil výskum na F & S Westinghouse. Sťažnosti boli voči kvalite diód z F & S Westinghouse a jej neochota alebo neschopnosť investovať do potrebnej výskumnej infraštruktúry, aby šla práca dopredu. Vyžadovalo to väčšie investície pre čistenie germánia a vákuové tégly, ktoré Westinghouse buď nechce alebo nemôže vykonať. Ďalšou spoločnosťou, ktorá podporovala nové technológie bola Centre National d'Etudes des telekomunikatione (CNET), ktorá bola založená v roku 1944 s cieľom podporiť reformu francúzskeho

telekomunikačného systému s francúzskou technológiou. Základom výskumu CNET bola výroba tranzistorov, ktoré považovali za komponenty budúcnosti. V roku 1951 už produkovali čistý oxid germánia a použili ho na výrobu čistého germánia. V nasledujúcom roku začali vyrábať germániové monokryštály metódou Bridgema a Kyripoulos a v roku 1953 úspešne realizovali metódu čistenia, ktorú objavili v Bell Labs. Tento vývoj bol CNET povolený na výrobu germánia typu – N, dotovaný antimónom pred vyťahnutím kryštálu z taveniny. V roku 1950 produkovali vo Francúzsku tranzistory „Compagnie Générale de télégraphie Sans Fil, (CSF), Soviété Francaise Radio Electrique (SFR), Laboratoire Central de telekomunikatione (LCT) a Compagnie Francaise Thomson – Houston (CFTH).“ Najdôležitejším výrobcom bola spoločnosť CSF založená Emile Girardeau po I. sv. vojne. Spočiatku malá firma investovala do základného výskumu a stala sa jednou z mála firiem, ktoré mali priemyselné výskumné laboratórium vo Francúzsku, ktorému šéfoval Maurice Ponte a do roku 1950 vzrástol počet zamestnancov na 9000 z toho vo výskume ich bolo 750. V roku 1952 Ponte rozhodol zriadiť laboratórium na výskum a spracovanie polovodičov a do čela bol menovaný Claude Dugas, ktorý bol čerstvý držiteľ doktorského titulu. V roku 1953 bola nainštalovaná linka na hrotové diódy a germániové tranzistory. CSF nepožiadala o licenciu Bell Labs a ani o žiadnu dohodu s RCA na rozdiel od mnohých výrobcov ako Philips, Siemens & Halske, Telefunken, BTH, Pye a GEC.

CSF urobil základný plátok o veľkosti 3 x 3 mm a hrubý 0,3 mm a potom sa použilo chemické leptanie na zmenšenie hrúbky na 0,15 až 0,18 mm. Kolektor a emitor boli vyrobené z dvoch prechodov v legujúcej peci pri teplote 550 °C. Variabilita v akejkoľvek fáze ale viedla k nekontrolovateľnej šírke základne tranzistora a nedostatočnej konzistencie charakteristík tranzistora. Ešte aj v roku 1954 sa CSF trápila s problémami kontroly. Bolo zistené, že ich zliatinová pec nedokáže udržať konzistentné teploty, čo má za následok neprijateľnú variabilitu i jednej rade tranzistorov. Nové laboratórium malo za cieľ vyrobiť linku s kapacitou 30 000 tranzistorov od roku 1955. Výroba bola problematická. Metóda bola založená na veľmi striktné na spätnej väzbe pre nastavenie jednotlivých parametrov, napríklad teploty pece alebo stupeň dotovania tie najmenšie odchýlky vlastností. Prvé tranzistory vyrábané v Puteaux boli CSF TJN1 a TJN2. Rovnako ako väčšina výrobcov z tohto obdobia boli sady tranzistorov vyrobené na použitie v nízkofrekvenčných zosilňovačoch so ziskom 10 až 60 dB s napätím do 50 voltov. Model CSF TJN1 mal zisk 10 až 40 dB a boli natreté bielou farbou boli typu PNP. Spoločnosť Laboratoire Central de Telekomutation (LCT) v roku 1953 licenčne vyrábali dva hrotové tranzistory 3698 ako spínacie a 3768 na všeobecné použitie a boli podobné tranzistorom, ktoré sa vyrábali vo Western Electric.

Thomson – Houston Electric Company mala dcérsku spoločnosť i vo Francúzsku pod menom Compagnie Françoise Thomson – Houston (CFTH) a je druhou najväčšou elektronickou firmou vo Francúzsku, ale s výskumom polovodičov začali až v roku 1956 s pomocou General Electric Company. V roku 1953 zodpovedal za výrobu germánia v sekcii „Radar“ M. Mercier a v tom čase v CFTH vyrábali štyri kremíkové hrotové diódy typu 8023B a 8021B, čo zodpovedalo typom amerického výrobcu 1N23B a 1N21B.

Tranzistor Telefunken

Začalo to vývojom kremíkových detektorov na centimetrové vlny vhodné pre radar. V decembri 1943 Telefunken uviedol detektory ED 700 až ED 705 na použitie v leteckých detektoroch pre nočné stíhače s možnosťou nájsť nepriateľské bombardéry. Charakteristickým rysom bodových kontaktov bol jeho vysoký šum a inžinieri Telefunken spolu s Mataro pracovali na duálnom detekčnom obvode, ktoré by mali mať zodpovedajúce hodnoty šumu. V skutočnosti to boli tri elektródy, ale materiál kryštálu bol tak nehomogénny, že väčšina testov nedosahovala požadované parametre. V roku 1942 vydali Telefunken výsledky testov. O rok neskôr bol k dispozícii lepší materiál kryštálu. Karl Seiler Breslau odparoval kremík na grafitovom substráte a Heinrich Welker v Ústave fyzikálnej chémie v Mníchove použil techniku Bridgmanovú na vytvorenie kryštálov germánia. Usporiadanie dvoch bodových kontaktov blízko seba na kryštáli, ktoré riešil Mataro, bol v podstate „hrotový tranzistor“, lebo nebol čas hlbšie skúmať určité elektrické javy, lebo v roku 1944 sovietska armáda obsadila Sliezske a laboratórium museli opustiť. V dôsledku vojny boli továrne Telefunken zničené a mnoho jej vedcov rozptýlených alebo vyslaných do zahraničia pod vedením okupačných štátov, aby sa posilnila ich ekonomika. Sovietsky po kapitulácii v máji 1945 sústredili výskum a vojnové laboratóriá v továrni AEG v závode na výrobu elektrónok Oberschöneweide a jeho prvým manažérom bol Karl Steimel bývalý konštruktér elektrónok v Telefunken. V roku 1946 boli zlúčení s Nachrichtentechnische Entwicklung und Fabrikation a bola známa pod označením OSW (Sovietische Aktiengesellschaft). Zamestnával 2000 vedcov, inžinierov a robotníkov. Od roku 1947 tam vzniklo sedem oddelení pokrývajúcú kompletne celú elektroniku i materiálový výskum. V januári 1951 bola organizácia premenovaná na HF a v roku 1960 na WF. Diódy vyvinuté v Telefunken začali vyrábať v OSW v roku 1947 a bolo vyrobených asi 5000 kusov ED 704, ED 705 a ED 707 a neskôr v NDR sa vyrábali do roku 1960.

Johann Heinrich Welker (9. 9. 1912 – 25. 12. 1981) bol teoretický fyzik, ktorý bol pri zrode hrotového tranzistora vo Francúzsku v roku 1948. V roku 1931 začal študovať na univerzite v Mníchove pod vedením Arnolda Sommerfelda a získal i titul PhD. v roku 1936. Počas rokov 1940 až 1945 pracoval v Radio

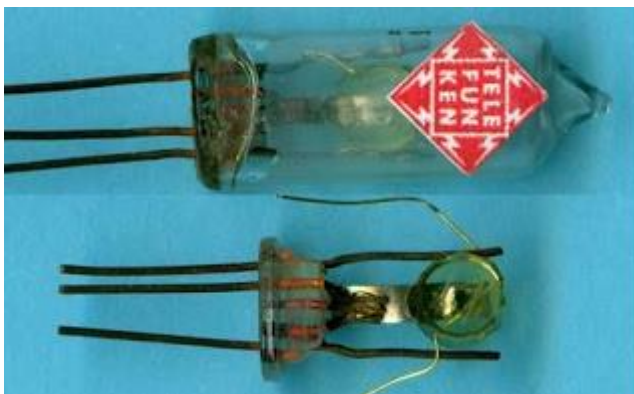
Research Institute
v Oberpfaffenhofen,
ale udržiaval kontakt
s fyzikálnym
inštitútom na
univerzite v Mníchove.
Po vojne nastúpil do
zamestnania v dcérskej
spoločnosti
Westinghouse v Paríži.
V rokoch 1951 až 1961
Welker bol v čele
oddelenia Siemens –
Schucker v Erlangene,
kde on vyvinul nové
III. V zlúčeniny so
snahou nahradiť
kremíkové polovodiče.



Jeho práca viedla k rozsiahlemu využitiu galvanomagnetických a optoelektrických efektov, ako aj k novým spínacím obvodom v mikroelektronike. Welker a jeho oddelenie pripravili cestu pre mikrovlnné polovodiče a laserové diódy. V rokoch 1961 až 1969 bol riaditeľom výskumných laboratórií Siemens – Schuckertwerke v Erlangene. Od roku 1969 až do odchodu do dôchodku v roku 1977 bol riaditeľom všetkých výskumných laboratórií v spoločnosti Siemens.

Telefunken získala licenciu od Bell Labs na výrobu tranzistora. V roku 1952 sa zúčastnil Horst Rothe sympózia v Bell Labs na oboznámenie sa s výrobou hrotových tranzistorov a plošných tranzistorov ako i iné kľúčové technológie nutné pri ich výrobe. O licenciu požiadali i Siemens & Halske a Felten & Guillaume. Vznikli nové spoločnosti, akými bola Proton, ktorú založil Wolfgang Bull v Planegg neďaleko Mníchova. Kristalloden, založená Rudolfom Rostom a Intermetal, založená Herbert Matarom a investormi Jacob Michael v roku 1952. V Nemecku ako prvá spoločnosť na výrobu tranzistorov bola Rudolph Rost's Company Kristalloden v Hanoveri, ktorá začala vyrábať niekoľko typov hrotových tranzistorov v roku 1952 pod označením GT 10, GT 20 alebo GT 30. Neskôr v tom istom roku Süddeutsche Apparate – Fabrik (SAF) v spolupráci s Felten & Guillaume predviedli model VS 200, hrotový tranzistor a neskôršie germániovú diódu na základe práce Heinricha Welker. Telefunken mal okrem know – how od Bell Labs dohodu i s RCA o nesúťažení a vzájomne si vymieňali informácie o nových technológiách.

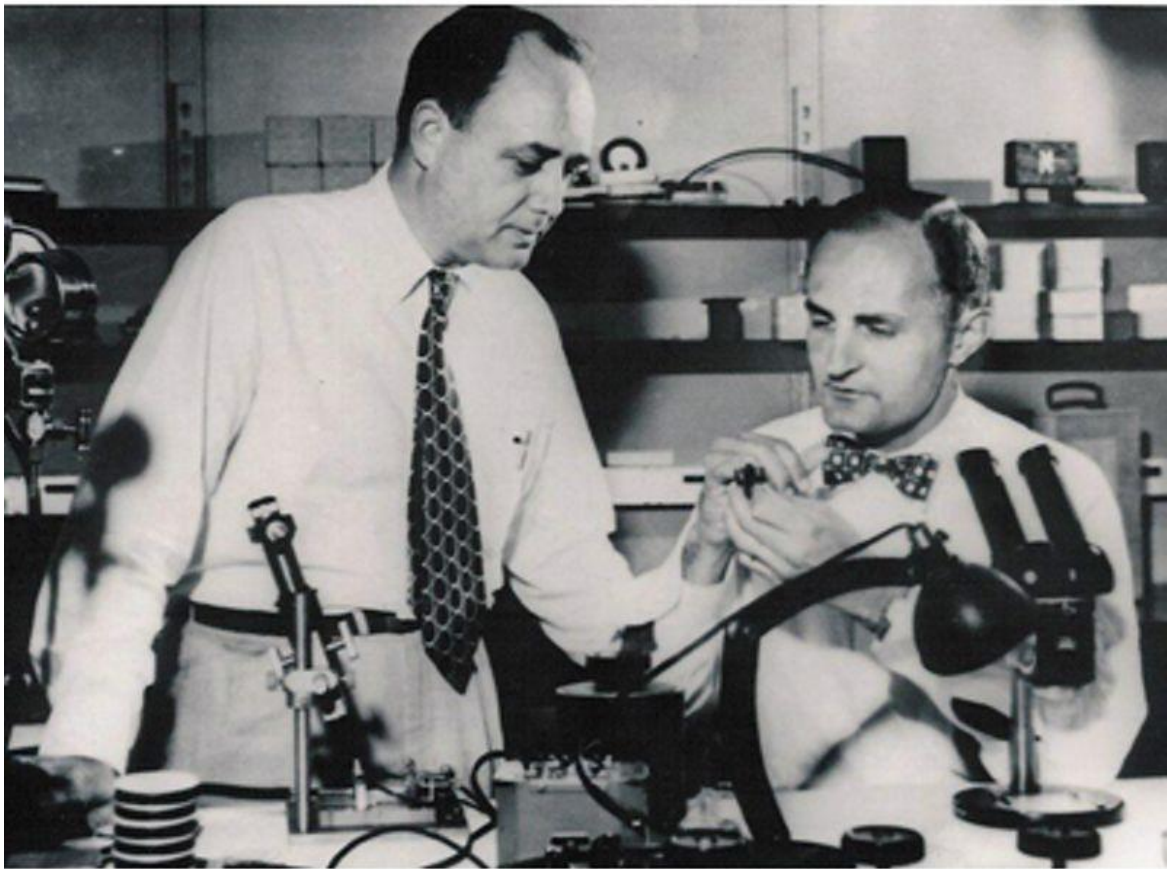
Prvými produktmi Telefunken boli germániové hrotové diódy uložené v sklenom puzdre. V roku 1953 mal Telefunken šesť závodov a päť laboratórií v Berlíne, Ulm, Frankfurt nad Mohanom, Mainz a Hanover, kde vyrábali širokú škálu elektronických výrobkov ako sú



vysielač, komerčné a námorné aplikácie. Telefunken začal vyrábať vysoko čistý germániový ingot pomocou technológie Czochralski. Prvý hrotový tranzistor vyrobený v Telefunken vyrobili v roku 1953 ako experimentálny typ GC1, ktorý vidieť na obrázku bol vyhotovený iba za účelom demonštrácie funkčnosti a bol uložený v čírej sklenenej banke. Kolektor bol dotovaný antimónom a zlatom a vytvoril sa N – typ a emitor bol dotovaný gáliom a zlatom a vytvoril sa P – typ.

Plošný tranzistor (junction transistor)

Medzi hlavné úspechy je v Bell Labs považovaný plošný tranzistor, ktorý bol prvýkrát koncipovaný v januári 1948 William Shockley, ktorý viedol skupinu spolu s Bardeen a Brattain. Zistil, že oveľa lepší výkon tranzistora a spoľahlivosť by sa dosiahla elimináciou krehkých bodových kontaktov a miesto toho vytvoril emitor, základňu a kolektor ako jediný polovodičový sendvič s tromi rôznymi vrstvami. Ale vzhľadom k tomu, že frekvenčná reakcia plošného tranzistora bola na začiatku nižšia ako u hrotového tranzistora, Bell Labs odložili ohlásenie tohto úspechu viac ako o rok, až 4. júla 1951. O päť rokov neskôr v roku 1956 udelili Nobelovu cenu za fyziku Bardeen, Brattain a Shockley za vynájdenie revolučného polovodičového zosilňovača. Po teórií Williama Shockley o PN prechodoch bolo testami potvrdené ich fungovanie v Milestone v roku 1948, vytvorením experimentálneho prechodového (plošného) tranzistora. Hlavným problémom bol nedostatok dostatočne čistých polovodičových materiálov. Chemik Gordon K. Teal tvrdil, že by bolo potrebné vyrobiť veľké jednoduché kryštály germánia a kremíka. S malou podporou manažmentu Teal sám postavil jednoduché, potrebné zariadenie na tvorbu kryštálov s pomocou inžiniera mechanika Johna Liffleho a technika Ernesta Buehlera. Na základe techniky, ktoré v roku 1917 vyvinul poľský chemik Ján Czochralski a postavil malý rastúci germániový kryštál v nádobe s roztopeným germániom a pomaly ho ťahal a vytvoril dlhý, úzky monokryštál. Shockley neskôr nazval tento úspech „najdôležitejším vedeckým vývojom v oblasti polovodičov v prvých etapách vývoja“.



Na obrázku je Gordon K. Teal stojaci a Morgan Sparks v laboratóriu.

Využívajúc túto techniku, chemik z Bell Labs Morgan Sparks vyrobil PN prechody tým, že počas procesu kultivácie (rastu) kryštálov do roztaveného germánia injektoval malé množstvo nečistoty. V apríli 1950 spolu s Teal začali pridávať do taveniny dva po sebe idúce prvky, prvé s nečistotou typu – P a druhý s nečistotou typu- N, vytvárajúc tak NPN štruktúru s tenkou vnútornou základnou vrstvou. O rok neskôr, ako spoločnosť Bell Labs oznámila tento úspech 4. júla 1951 na tlačovej konferencii. Bolo to významnou polovodičovou technológiou vyvinutou v Bell Labs. Tento spôsob viedol k ultra čistým vzorkám germánia a kremíka. Znečistenie možno prirovnať štipke soli zamiešanej do troch nákladných aut s cukrom. Takéto ultra čisté polovodičové vzorky umožňujú vynikajúcu kontrolu v oblasti N –typu a P – typu pridaním malých množstiev nečistôt.

Chemik inžinier William Pfann bol priekopníkom rafinácie zón v rokoch 1950 až 1951. Opakovaným prechodom dlhej skúmavky naplnenej germániovým ingotom v horizontálnej polohe viedol cez sériu elektrických vyhrievacích cievok. Roztavil časť germánia a nechal ich rekryštalizovať.

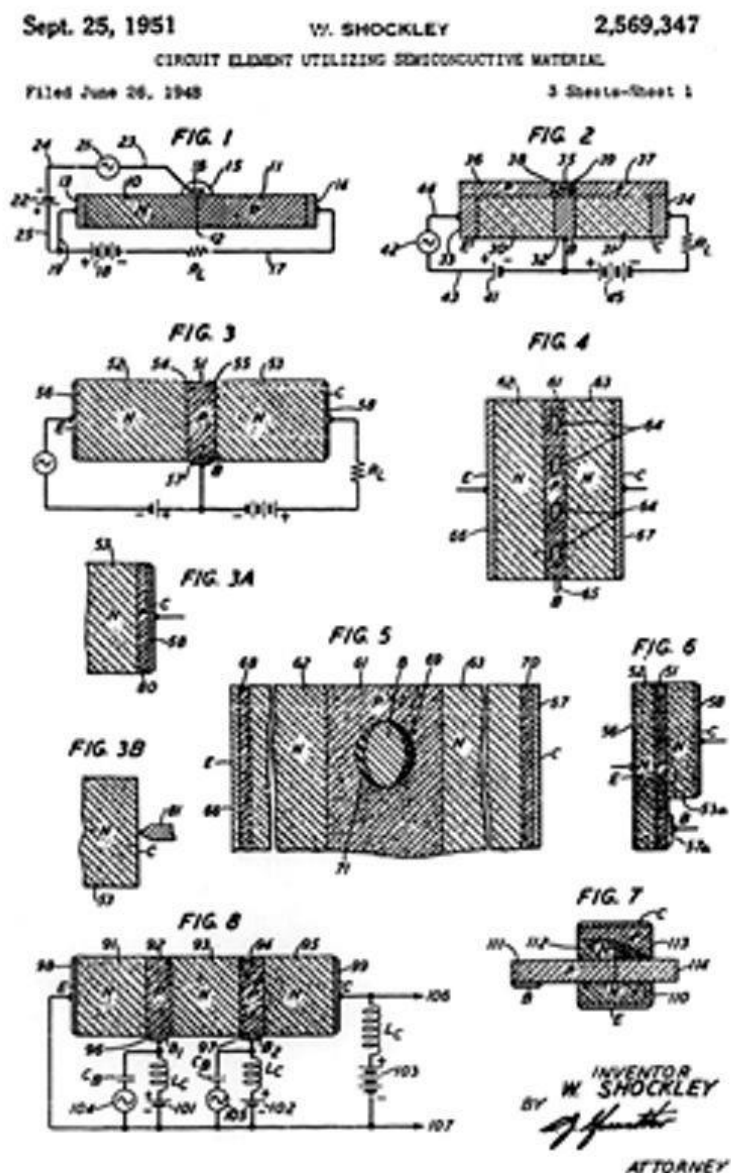


William Pfann a Jack Scaff pri technologickom zariadení tvorby vysoko čistého germánia v roku 1951.

Novo kryštalický materiál bol čistejší ako ten, ktorý začal zohrievať, zatiaľ čo nečistoty sa stále koncentrovali v roztavených častiach, ktoré boli presunuté na koniec trubice. Táto technika nebola vhodná pre kremík, lebo ten sa taví pri vyššej teplote $1415\text{ }^{\circ}\text{C}$, oproti $937\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri germánii. Začiatkom roka 1952 chemik Henry Theurer z laboratória Bell Labs vyvinul variantu tejto techniky, nazývanej rafinácia plavákových zón, pri ktorej na oboch koncoch prechádza tyč kremíka, ktorá je na oboch koncoch vertikálne, cez vyhrievaciu cievku.

Malý roztavený segment zostáva fixovaný na mieste medzi pevnými časťami tyče v dôsledku povrchového napätia. Pomocou rafinovania pary na odstránenie najhrubších nečistôt, ako sú napríklad bór, bol vyrobený kremík s úrovňou nečistôt pod jednu miliardu na jednu várku, začiatkom roka 1955. Proces bol vyvinutý samostatne v dvoch ďalších laboratóriách v P. H. Kecka a M. J. E. Golaya v US Army Signal Corps, vo Fort Monmouth.

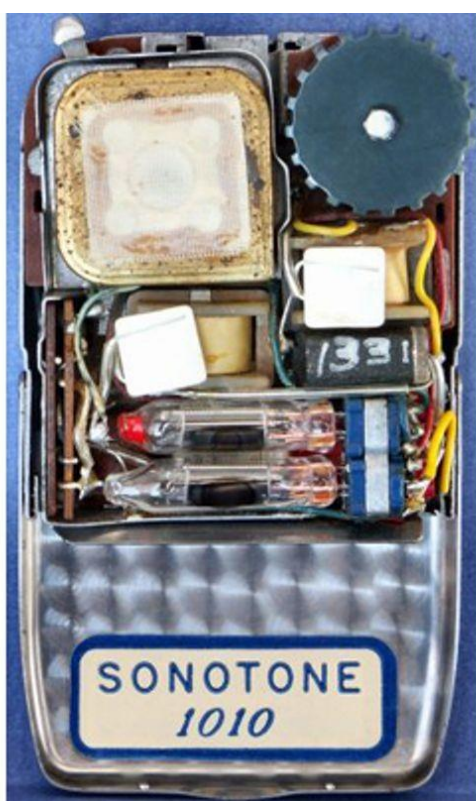
V roku 1952 sa začali objavovať prvé aplikácie germániových diód a tranzistorov.



Na obrázkoch sú pôvodné nákresy Williama Shockley z roku 1948.

Z dôvodu ich pôvodných vysokých výrobných nákladov v porovnaní s elektrónkami našli tranzistory svoje prvé spotrebiteľské aplikácie v

prenosných zariadeniach, ako sú napríklad načúvacie pomôcky a rádiá, kde malú veľkosť a nízku spotrebu energie boli rozhodujúce. Prvý tranzistorový spotrebný výrobok v USA bol v roku 1952 za cenu 229,50 dolárov od spoločnosti Sonotone 1010 načúvacie zariadenie, ktoré vidieť na obrázku dole, v pravo je rádio, ktoré bolo osadené iba polovodičovými súčiastkami. V Sonotone boli použité tranzistory Raytheon CK 718, prvý tranzistor, ktorý bol

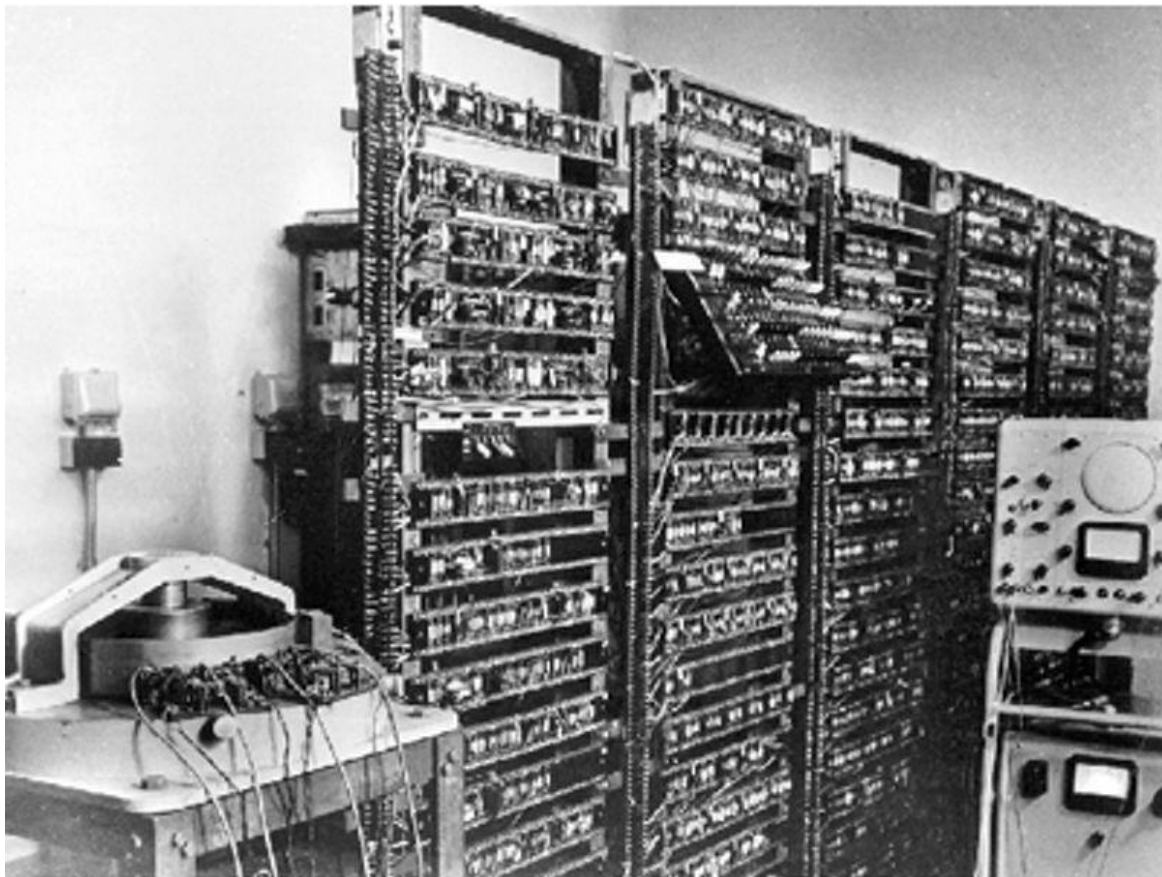


demonštroval rádio, ktoré bolo osadené štyrmi hrotovými tranzistormi na Rádiovom veľtrhu v Düsseldorfe v roku 1953, ktoré je vidieť na hornom obrázku. Prvé tranzistorové rádio dostupné americkému spotrebiteľovi bolo Regency TR – 1 v októbri 1954 za cenu 49,95 dolárov. Vyrobený bol spoločným podnikom s Texas Instruments, ktorý dodával svoje plošné tranzistory a Regency Division, zabezpečoval predaj viac ako 100 000 kusov a presadil sa názov „tranzistor“ do verejného lexikónu. V tom istom mesiaci Tokio Telekomunikačná spoločnosť, neskôr premenovaná na Sony, predávala „germániové hodiny“ a načúvacie pomôcky a ukázala prototyp tranzistorového rádia v obchodnom dome Mitsukoshi v Tokiu. V marci 1955 Sony začala predávať svoje tranzistorové rádio TR – 52 v USA za 29,95 dolára a čoskoro ovládla tento trh.



výrobený hromadne. V roku 1954 požívalo 97 % všetkých sluchových pomôcok iba tranzistory. Tvrdé presadzovanie na trhu polovodičových súčiastok spoločnosťou Raytheon pod vedením Normana Krima urobilo spoločnosť najväčším výrobcom tranzistorov v rokoch 1952 až 1955. Intermetal Corps. v Düsseldorfe v Nemecku, spoluzakladateľ Herbert Mataro verejne

Počas 50. rokov polovodičové zariadenia postupne nahrádzali elektrónky v digitálnych počítačoch. Po roku 1960 boli nové návrhy počítačov plne tranzistorové. V apríli 1950 bol v prevádzke v Národnom úrade pre štandardy východného automatického počítač SEAC, ktorý obsahoval 10 500 germániových diód a 747 elektrónok. Pod vedením Toma Kilburna na univerzite v Manchestri, Richard Grimsdale a Douglas Webbm, zhotovili prototypový počítač, ktorý ukázali 16. 11. 1953. Je to 48 – bitový stroj osadený hrotovými tranzistormi v počte 92 kusov a 550 diód vyrobených STC britskej pobočky ITT.



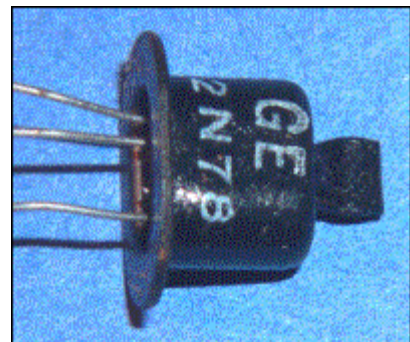
Na obrázku je vidieť prototyp počítača na univerzite Manchester z roku 1953.

Vylepšená verzia bola osadená 250 tranzistormi a bola dokončená v roku 1955. Metropolitan Vickers Electrical Company vyrobila šesť kusov takýchto

počítačov pod označením Metrovick 950, ktoré používali komerčne v spoločnosti od roku 1956.

Jean H. Felker viedol tím v Bell Labs spolu s inžinierom Jamese R. Harris, ktorý v roku 1954 navrhol a postavil čisto tranzistorový počítač nazvaný TRADIC (TRANsistor DIgital Computer). Počítač obsahoval 700 hrotových tranzistorov a viac ako 10 000 diód a pracoval na frekvencii 1 MHz, pričom jeho energetická spotreba bola 100 W. Elektrónkovú verziu Flyable TRADIC s tranzistormi nahradila analógový počítač pre navigáciu a kontrolu bombardovania v lietadle C – 131. Pod vedením Williama Papián v apríli 1956 a Advanced Development Group spoločnosti MIT Lincolns Labs používali rýchle germániové spínacie tranzistory spoločnosti Philco Corporation na zhotovenie 5 MHz univerzálneho digitálneho počítača známeho ako TX – 0 (Transistor Experimental). V roku 1956 bol postavený prvý Japonský tranzistorový počítač pod názvom ETL Mark III.

V septembri 1954 General Electric oznámila výstavbu nového výrobného zariadenia na sériovú výrobu tranzistorov, lebo v tej dobe GE vyrábala iba niekoľko sto tranzistorov za týždeň na prototypovej linke v Syracuse. Tvorba ingotu vo výrobe trvá desať dní, čo v tom čase stačilo na výrobu tranzistorov počas desiatich dní. Spoločnosť chce zmechanizovať proces zhotovenia tranzistora 2N78. Do apríla 1955 sa tranzistor 2N78 vyrábala vo veľkých objemoch. Jeho aplikovanie zahŕňa i použitie vo vysokofrekvenčných a medzifrekvenčných obvodoch do frekvencie 5 MHz s napätím do 15 voltov, prúdom 20 mA na kolektore s pracovnou teplotou do 100 °C a so ziskom 13 dB. Je to germániový NPN tranzistor so šírkou 12,7 mm, hĺbkou 9,5 mm a výškou 12,7 mm. Tranzistor je hermeticky uzavretý a jeho testované prúdové zaťaženie kolektora dosiahlo hodnotu 50 mA pri teplote 30 °C. General Electric vyrába i model 2N1289, na ktorom je použitá novšia výrobná technológia a tranzistor pracuje do frekvencie 40 MHz, s rovnakou štruktúrou NPN. V roku 1957 vyvinuli Lesk a Gonzales experimentálny PNP tranzistor, ktorý pracoval do 60 MHz so ziskom 15 dB. Prvé tranzistory vyrábané z ľahkých zliatin v GE boli pod označením 2N43, 2N44 a 2N45 oznámené ešte v roku 1953 a Conrad Zierdt inžinier vo výrobe bol zodpovedný za dizajn tranzistora a v roku 1954 poznamenal: „tranzistory boli sklamaním pre mnohých technikov z dôvodu nedostatku stability pri zmenách teploty a tranzistory 2N43, 2N44 a 2N45 boli navrhnuté tak, aby odstránili spomenuté nedostatky“. Ich výroba bola z automatizovaná na výrobnéj linke a maximálny výkon 2N43 je 150 mW so ziskom 37 dB. Napätie do 45 voltov s prúdovým zaťažením 50 mA.

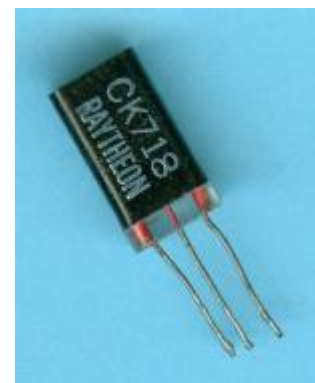


Western Electric začal ponúkať licencie na tranzistor vyvinutý v Bell Labs, plošný vyvinutý Shockley patentovaný v septembri 1951 na sympóziu v roku 1952 za poplatok 25 000 dolárov. Raytheon, vyzbrojený licenciou od Bell a licenciou od General Electric, bol pripravený začať s vývojom svojho prvého komerčného plošného tranzistora. Na tieto účely bolo vyčlenených dva milióny dolárov, čo bola veľká čiastka v tej dobe.



Na obrázku je prvý germániový plošný tranzistor vyvinutý Shockley v roku 1948 a prvý kremíkový plošný tranzistor od Texas Instruments.

George Freedman bol menovaný ako vedúci špeciálneho polovodičového tímu v Chapel Street v budove Raytheon. Čoskoro boli vypracované modely plošného tranzistora a Raytheon sa úspešne kontaktoval na spojovacie vojsko a námorníctvo pri zlepšovaní výrobných procesov tranzistora. K tímu sa pridala Dr. Charles Smith, jeden zo zakladateľov firmy a vynálezca ich prvej elektrónky. V septembri 1952 bol uvedený tranzistor CK 718 pre načúvacie zariadenia, ktoré potreboval Norman Krim, lebo ten pracoval na priemyselnom využití a propagácii



tranzistora. Správy v New York Times z 26. 1. 1953 oznámili, že dodávky tranzistorov začala používať viac ako pätnásť výrobcov sluchových zariadení. Prvé CK 718 boli vyrobené na sklenenom podklade a aktívne prvky boli chránené voskovou vrstvou v čiernom epoxidovom výlisku. Výroba CK 718 pokračovala do roku 1955, kedy sa stala zastaralá, ale na trhu sa objavovali ešte aj v roku 1957. Vo februári 1953 Raytheon ponúkal armáde a obchodu dva typy plošných germániových tranzistorov CK 721 a CK 722 a rozdiel je vo výkonovom zisku, CK 721 má zisk 38 dB a CK 722 30 dB a u CK 721 h_{fe} 40 a u CK 722 h_{fe} 12. Všetky typy sa vyrábali v rovnakej výrobnéj sérii. Väčšina vyrobených tranzistorov boli použité ako spínacie v počítačoch a jeden kus sa predával za 5 dolárov, pričom miniatúrne elektrónky sa ponúkali za 1 až 1,6 dolára.

V prvej polovici 50. rokov začal používať Raytheon na označenie typu tranzistorov písmená QC a na obrázku sú tranzistory QC103, QC117 a QC143A. Nové puzdro bolo patentované. Irving Levy patentoval kovové puzdro plnené inertným plynom. John Sardelli patentoval spôsob zapuzdrenia pomocou fluórovej polyméry, ktoré mali vysokú odolnosť proti vlhkosti a ktoré boli zalisované do skrutkového uzáveru. Už v tom čase uvažovali o puzdre z plastu s hermeticky uzatvorenou procesou. V novom plechovom puzdre modrej farby začali vyrábať tranzistory pod označením 2N63, 2N64, 2N65 a 2N106 určené ako AF zosilňovače so zosilnením 22, 45, 90 h_{fe} ziskom 39 až 42 dB. Vyrábali sa v roku 1954 a 1955.



RCA sa rozhodol pre stratégiu prechodových zliatin na báze publikovaných prác spoločnosťou General Electric. V roku 1950 Robert Hall a Crawford Dunlop publikovali PN prechody zo strany rozptýlenia darcov a akceptorov z opačných strán germániovej základne. Na uskutočňovaní tejto teórie začal v januári 1951 Pankov o PN rozptýlením antimónu a hlička do germánia, ale do júna 1951 nedosiahol žiadny pokrok smerom k zhotoveniu plošného tranzistora. Na výrobe prechodových zliatin pracovali R. Law, Jack Pankov a L. Armstrong. Ich vývoj sledoval John Saby z General Electric, ktorý už mal skúsenosti s nanášaním india do germánia. Nanesenie india malo priemer 0,1 až 0,2 mm. Táto metóda bola vylepšením vstrekaním roztaveného india. Po zhotovení 100 až 200 tranzistorov na univerzite Princetone, bola výroba prevedená do závodu Harrison. Mueller začal tráviť veľa času dochádzaním medzi Princetone a Harrison. Výrobná linka bola zriadená a linku obsluhovalo desať žien, ktoré mali vyrobiť 100 tranzistorov za deň. Miestnosť bola mimoriadne špinavá a až natoľko, že tam boli prachové častice väčšie ako samotné body india.

RCA v roku 1952 produkovali plošné tranzistory typu TA – 153, PNP štruktúra podobná tranzistoru 2N34, TA – 154. V júni uviedla tranzistory TA – 155 a TA -155A. PNP s výkonom 1 W s maximálnym napätím 100 voltov so ziskom okolo 40 dB. Tranzistory nebolo možné použiť vo vysokofrekvenčných obvodoch, lebo tieto PNP tranzistory neboli navrhnuté pre vyššie frekvencie. V júli 1953 Mueller a Pankov prezentovali novú technológiu na RF tranzistoroch, ktoré sú schopné pracovať až do 20 MHz na IRE – AIEE Transistor Research konferencii v State College Pensylvania, pod označením SX – 160. Mueller upozornil, že CX 160 splnil svoj účel na začiatku, umožnil inžinierom pokračovať v rozvoji tranzistora v prípade rádiových frekvencií, ale je príliš zložitý a nákladný na sériovú výrobu. Nasledovala v roku 1954 výroba vysokofrekvenčných tranzistorov PNP typu TA 247, TA 248 a SX 163.

Nové tranzistory boli oznámené v marci 1956 pod označením 2N139 a 2N140 štruktúry PNP určené pre IF a konvertory prípadne prenosných rádioprijímačov. Tieto tranzistory disponovali výkonom 35 mW, h_{fe} 48 a s frekvenciou 4,7 až 7 MHz so ziskom 27 dB na frekvencii 1 MHz.

Texas Instruments, potom, čo sa mu podarilo získať licenciu a technológiu výroby čistého germánia a miešať vhodné prímеси sa Haggerty rozhodol založiť laboratórium na výrobu pevných látok. Ku koncu roka 1952 Haggerty presvedčil Gordona Teal, aby prešiel z Bell Labs do Texas Instruments ako vedúci výskumu. Teal načrtol svoju predstavu pre vytvorenie prechodového kremíkového tranzistora. Krátko po príchode do TI, sám nastavil program na kremíkový kryštál so zameraním na výrobu vysoko čistého kremíkovej štruktúry PN prechodu s cieľom uľahčiť vývoj kremíkového tranzistora s dostatočným zosilnením. Teal zase pre zmenu presvedčil Dr. Willis A. Adcock, schopného mladého vedca, aby opustil laboratórium jednej ropnej spoločnosti a prešiel do TI, kde by sa mal pripojiť k výskumu dotovania čistého kremíka vhodnými prvkami. Netreba byť prekvapení, že prvými tranzistorami boli hrotové tranzistory a že investoval do výskumu plošných vysokofrekvenčných tranzistorov z germánia a prechodu na kremíkové v priebehu dvoch rokov. Hrotové tranzistory model 100 a 101 vyrobené v auguste 1952 boli vyrobené iba v malom množstve a aj tie boli použité pre výskum vo vlastnom laboratóriu. V decembri 1952 bol typ 100 a 101 ohodnotený na 100 dolárov a v marci 1953 začal inzertnú kampaň na tieto tranzistory s frekvenciou do 1 MHz, ale pre ich problémy pri výrobe v apríli 1953 ukončili ich výrobu. V júli sa dostali do výroby vylepšené typy 102 a 103s lepšom hermetickom puzdre. Celý proces výroby sa robil ručne so zručnosťou hodinára pod mikroskopom. No ani tieto tranzistory sa nepredávali a tak ukončili výrobu hrotových tranzistorov.

Plošný tranzistor bol vynájdený v Bell Labs a v tom čase bol Gordon pri tvorbe vysoko čistého kryštálu germánia NPN tranzistora. Prvé plošné tranzistory vyrobené v TI boli typu 200 a 201 uvedené v novembri 1953 a vytavené verejnosti na výstave IRE v marci 1954.

Texas Instruments'
POINT CONTACT
TRANSISTORS
now available!

TEXAS INSTRUMENTS makes available to industry Type 100 and 101 point contact transistors. Type 100 is designed for use in switching circuits. Type 101 is a high-efficiency, low-drain transistor for low frequency (below 1 mc) application. It is designed to operate at low voltage and power levels with a good, large signal performance. Both have the usual high temperature limitations of germanium semi-conductor devices. Uniform characteristics are assured. Write for bulletin with complete information.

TYPICAL COLLECTOR CHARACTERISTICS TYPE 101

COLLECTOR VOLTAGE - VOLTS

COLLECTOR CURRENT - MILLIAMPERES

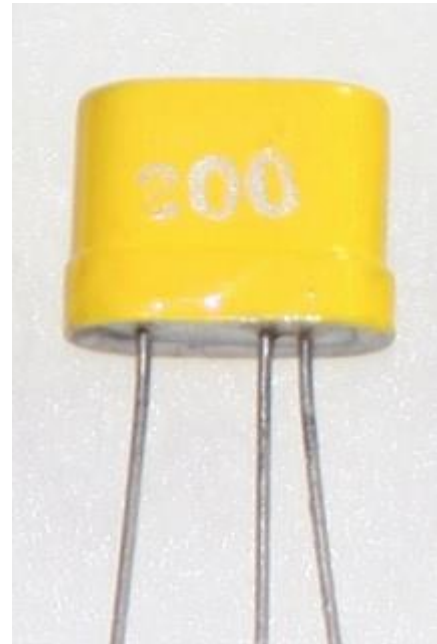
★ ACTUAL SIZE

★ Point contact transistors Type 100 and 101 ready for immediate delivery. ★ Junction transistors will be available in developmental quantities in May. ★ Be sure to watch for announcement concerning new semi-conductors later this year.

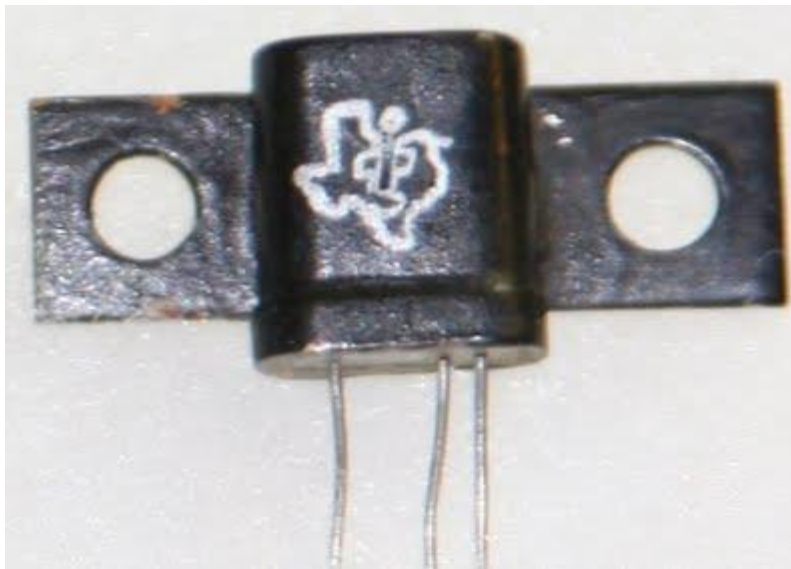
TEXAS INSTRUMENTS
6000 LEMMON AVENUE INCORPORATED DALLAS 9, TEXAS

ELECTRONICS — March, 1953 205

Pôvodne boli ukryté v plechových puzdrách, ktoré boli určené pre hrotové tranzistory. Tieto tranzistory boli robustnejšie a lepšie rozptyľovali teplo, spoľahlivejšie a ich výroba jednoduchšia. Tieto vlastnosti otvorili širokú škálu ich použitia. Germániový výkonový a fototranzistor boli vystavené v roku 1954. Výkonový tranzistor X – 2 na obrázku mal chladič z mede prispájkovaný k plechovému puzdru a bol vyrobený na výkon 330m W pri teplote 25 °C. V októbri 1953 získal TI svoju prvú väčšiu zákazku 7500 tranzistorov pre sluchové pomôcky Sonotone.



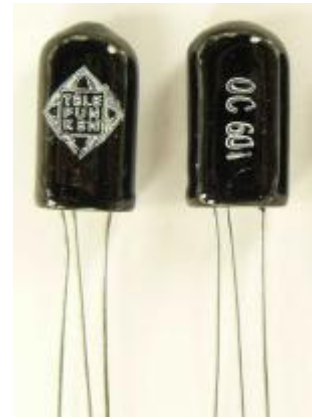
Na obrázku je plošný tranzistor vyrobený v TI v roku 1953.



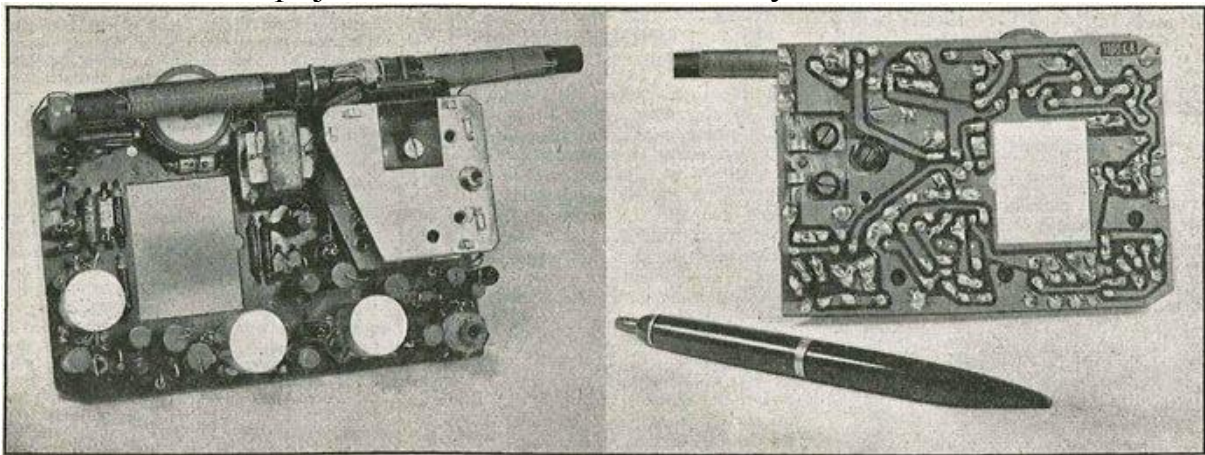
Philips okrem výroby elektrónok v roku 1952 si začal v Philips Research s úplne ničím novým. V tej dobe to viedlo k výrobe polovodičov. Philips použil svoje vedomosti a patentové výhody z oblasti feritov a to znamenalo, že v roku

1951 sa celá výskumná skupina zamerala na vývoj, ktorý robili už pred desiatimi rokmi, ale bol zastavený. Čoskoro v roku 1952 boli zhotovené prvé tranzistory a prvé tranzistorové rádio vyrobené spoločnosťou Philips. V roku 1954 bol otvorený prvý závod na výrobu tranzistorov v Nijmegene. Počas päťdesiatich rokov bol Philips výrobcom tranzistorov väčšieho významu v Európe a v roku 1961 vyrábal 20 % svetovej produkcie týchto súčiastok. Prvé sériovo vyrábané tranzistory z roku 1954 boli pod označením OC 50 a OC 51 hrotové germániové. Prvé germániové diódy typu OA 50 sa začali vyrábať v roku 1952. V obale z plastu boli vyrábané v roku 1954 tranzistory OC 10, OC 11, a OC 12 a boli to prvé komerčné tranzistory. V roku 1954 zahájili výrobu germániových tranzistorov so skleneným základom pod označením OC 72 a OC 71. Germániové výkonové tranzistory z roku 1954 niesli označenie OC15. V roku 1956 sa začali vyrábať prvé komerčné výkonové tranzistory v Európe pod označením OC 16, ale to už je iná kategória tranzistorov.

Telefunken oznámila v roku 1954 svoje plošné tranzistory typu OC 601 a OC 602 malého výkonu pre nízko-frekvenčné zosilnenie v puzdre zo silikónu, ktorý vyplňa sklenú obálku. Tesnenia medzi plášťom zo skla a drikom bolo z epoxidovej živice. Veľkosť tranzistora bola 5 x 12 mm a je vidieť na obrázku. V Hanoveri na veľtrhu v roku 1954 Telefunken uviedol novú radu nízkošumových tranzistorov OC 603 a OC 604, vhodné pre nízko-frekvenčné aplikácie. V priebehu roka uviedla OD 604, pre stredné výkony v koncových stupňoch



zosilňovačov. Ako prototyp tranzistorového rádia TR1, bol uvedený na veľtrhu v Hanoveri v roku 1955. V tom istom roku vyrobili v Telefunken približne 100 kusov šesť tranzistorových rádioprijímačov na preverenie dopytu v obchodoch počas roka 1956. S príchodom vysokofrekvenčných tranzistorov sa výrobcovia snažili tieto súčiastky využiť v medzifrekvenčných a vysokofrekvenčných obvodoch v prenosných rádioprijímačoch. Tranzistory OC 612 boli určené pre medzifrekvenciu 470 kHz a boli uvedené na jeseň v roku 1956. V Hanoveri v máji 1957 Telefunken uviedla svoj prvý vysokofrekvenčný tranzistor OC 613, ktorý nasledoval o niečo neskôr ako OC 44 od firmy Valvo. Oba tranzistory boli navrhnuté pre oscilátor. Tieto tranzistory boli použité v prvých nemeckých vreckových rádioprijímačoch „Peggie“ od firmy Akkord a „Partner 1“ od firmy Telefunken. Rádioprijímač Partner 1 obsahoval nový tranzistor OC 613 vo



vysokofrekvenčnom obvode, dva OC 612 v medzifrekvenčnom obvode a dvojestupňový nízko-frekvenčný zosilňovač bol osadený tranzistormi OC 604 s výkonom 100 mW. Rádioprijímač mal pekný dizajn a elektro súčiastky sa spájkovali na dosku plošných spojov. Jednotlivé obvody boli neutralizované, aby sa zabránilo rušivým kmitom v dôsledku veľkej kapacity tranzistorov v medzifrekvenčnej časti. V roku 1958 uviedla firma tranzistory OC 622 a OC624 miniatúrne nízko-frekvenčné a OC 615 bol vyrobený pre FM prijímače ako oscilátor a zmiešavač.

Prvé plošné tranzistory vo Francúzsku začali vyrábať tri spoločnosti: CSF, LCT a Radiotechnique, ktoré boli vystavené v Salon National de la Piece Détaché v Paríži 11. marca 1955 a boli uvoľnené aj pre obchod. Radiotechnique predstavila nízkofrekvenčné tranzistory OC 70 a OC 71 pre nižší výkon a pre stredný výkon OC 72 a vyšší výkon OC 15 ako prototyp. V septembri 1955 Toute la Radio zverejnila produkované tranzistory.

typ	použitie	výrobca	výkon	zisk	Bod E
TJN1	PNP AF	CSF	50 mW	10 - 40	
OC70	PNP AF	Radiotechnique	25 mW	25 - 35	
OC72	PNP AF	-	50 mW	40 - 50	
OC15	PNP zosilňovač	-	2W		
3604	NPN AF	LCT	50 mW	20 - 35	—

V tom čase už začal byť dopyt po tranzistoroch, ktoré by boli vhodné do prenosných rádioprijímačov. Prvé vysokofrekvenčné tranzistory boli predstavené v roku 1956 na výstave pod označením OC 45, germániový PNP od firmy Radiotechnique a LCT 3609 germániový NPN. V rovnakom čase uviedla firma Philips OC 45 v Amsterdame a Valvo na jeseň 1956, ktoré pracovali do frekvencie 3 MHz. NPN tranzistory 3609 pracovali do frekvencie 1,8 MHz. Prvým francúzskym tranzistorovým rádioprijímačom bol Transivox, na obrázku uvedený v októbri 1956, ktorý obsahoval osem tranzistorov, z toho štyri vysokofrekvenčné a v nízkofrekvenčnej časti boli použité tranzistory 2x OC 71 a koncovom stupni 2x OC 72 ako zosilňovač typu B. Tranzistorový prijímač Solistor Transistor 8 bol popísaný v decembri 1956, ktorý vyrábala dcérska spoločnosť CSF s príjmom na dve pásma: DV 150 – 360 kHz a SV 525 – 1600 kHz. Pri výrobe vznikli ťažkosti a meškali dodávky. Z 820 dodaných rádioprijímačov bolo 160 vrátených ako chybné. Rádioprijímač bol osadený tranzistorami General Electric : 2N135, 2N136 a 2N137 typ z PNP s frekvenciou 4,5 a 6 MHz.



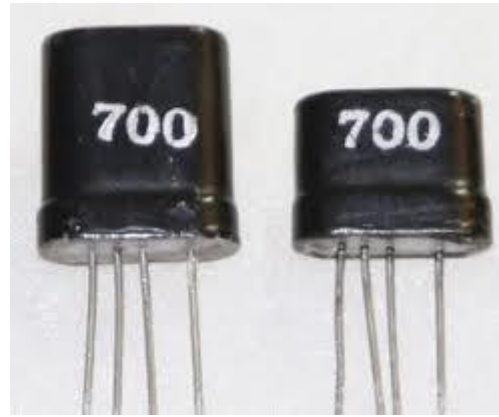
V roku 1957, 29. marca oznámila CSF vysokofrekvenčné tranzistory TJN7 a TJN6 germániové PNP. Firma Radiotechnique uviedla tranzistor PNP OC 44. Tento vývoj je ukončený na výrobní linke zliatinovej technológie. Nastúpila novšia technológia drift tranzistorov.

Spoločnosť Texas Instruments začala v malej sérii produkovať v roku 1953 germániové tetrody pod označením 700. Dodávali ich firme Automatic Gain Control (AGC) do audio zosilňovačov malých výkonov a vyrábali sa do marca 1954.

Tetrody boli používané viac vo vysokofrekvenčných aplikáciách. Zisk z týchto tranzistorov sa môže líšiť jeden od druhého až o 20 dB s pracovným prúdom iba 100 μ A na druhej základnej elektróde.

V rovnakom čase začal produkovať fototranzistory pod označením 800. Jeho výhodou oproti fotoelektrónke bola jeho veľkosť a spotreba elektrickej energie.

Pracuje v podstate ako uzemnený emitor tranzistora zosilňovača a vykazuje veľkú citlivosť k dopadajúcemu svetlu. Svetlo prichádzalo cez sklenenú priechodku na vrchnej časti krytu, hermeticky uzavretú. Produkcia začala v roku 1954. Jednalo sa o plošné tranzistory, ale nemal základné spojenie. Elmer Wolff pracoval na ich aplikovaní pre automobily. Hotový produkt je vidieť na obrázku.

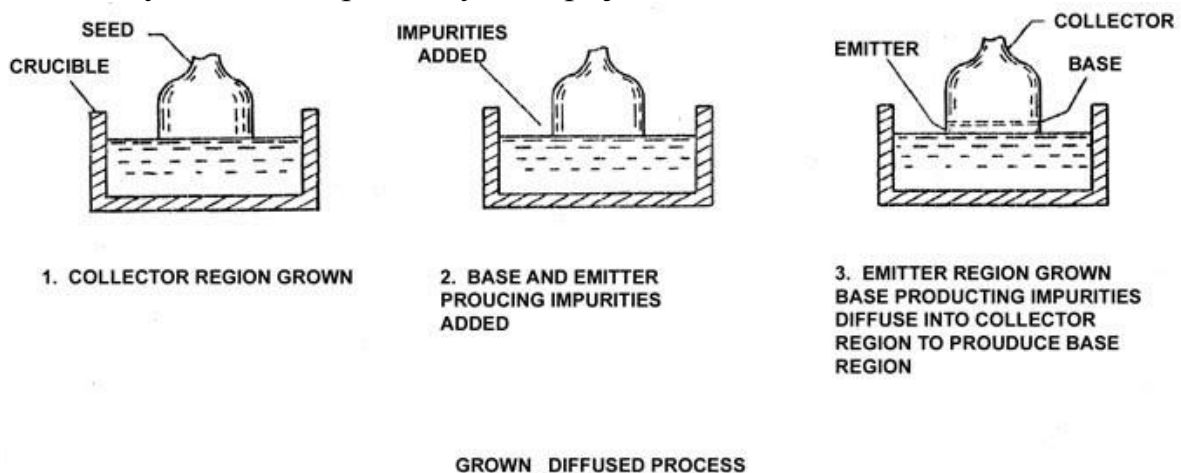


Elmer Wolff spomína na začiatky výroby vysokofrekvenčných tranzistorov takto: „Potenciálne aplikácie v prenosných rádioprijímačoch boli jasné, lebo elektrónkové spotrebovali oveľa viac energie a batérie boli drahé, ale vyrobiť tranzistory vhodné pre osadenie do vysokofrekvenčných obvodov bolo ťažké. Bolo nutné vyrobiť veľmi tenké základné vrstvy v tvoriacom sa kryštály a my sme nemali veľa

možností, lebo tempo rastu kryštálu nebolo jednoduché nastaviť“. Jednoduché NPN tranzistory boli tvorené veľmi pomalým ťahaním kryštálu z taveniny polovodiča typu – N. V krátkom slede bola pridaná tavenina typu – P, potom opäť typu – N s pridaním injekcie príslušnej nečistoty do zmesi. Takto vyrobenú sendvičovú štruktúru NPN bolo možno použiť vo výrobe pre audio tranzistory s označením 200. Ak chcete získať tenšie podklady pre aplikácie v RF, boli prímеси na základni a na emitor pridané do kvapalného germánia v zlomku sekundy vhodné typy polovodičov. Tie najlepšie tranzistory vyrobené týmto spôsobom boli použité pri výrobe prenosného rádia Regenci TR – 1. Tím návrhárov potreboval vyvinúť tranzistory, ktoré by vedeli oscilovať na frekvencii aspoň 2 MHz a zisk okolo 30 dB. Paul Davis, ktorý bol zodpovedný za vedenie vývoja tranzistorov vhodných pre prenosné rádioprijímače si spomína: Boli doby, kedy to vyzeralo nemožne, mali sme dni, keď so šiestich tranzistorov dobre fungoval iba jeden. Bolo veľmi veľa kryštálov ťahaných, u ktorých sa líšil čas a rýchlosť ťahu a načasovanie dotovania prímеси do taveniny a prísť na kombináciu, ktorá by dávala úzku základňu a pomerne nízky odpor základne. To bol jeden z hlavných problémov plošného tranzistora. Úzka základňa s kontaktom na jednej strane vykazovali dosť vysoký odpor.



Ak máte vysoký medzný kmitočet, tak aj odpor základne ide hore. Veľa úsilia a času bolo vynaložené v snahe vyvinúť kombináciu dotovanie sadzieb, časov a teplôt, ktoré by mohli byť použité na reprodukovanie sériovej výroby. Nedarilo sa nám doručiť tranzistory s dostatočným ziskom a na potrebnej frekvencii. Skutočný skok prišiel generovaním Boyd, kde bola základná vrstva vytvorená pridaním zmesi základnej taveniny s taveninou emitora do germániovej taveniny súčasne. Tajomstvom bolo, že P – typ materiál prímеси mali vyšší difúzny koeficient, ako prímеси N – typu a výsledná základná vrstva, ktorá bola veľmi tenká. Tento proces umožnil Texas Instruments vyrobiť tranzistory s dostatočným ziskom, aby štyri tranzistory dokázali uspokojiť požiadavky kladené na prenosný rádioprijímač.

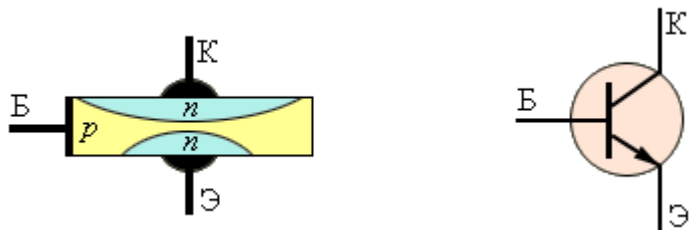


Na obrázku je vidieť postup pri difúznej technológii výroby tranzistorov. TI predával sadu štyroch tranzistorov za 10 dolárov pre rádioprijímač Regency TR – 1, pod označením 223, 2x 222, a 210. V dôsledku úspechu rádioprijímača Regency TR – 1 Texas Instruments musel uspokojovať obrovský dopyt nových tranzistorov, pritom výrobný proces bol príliš pomalý. Rýchlejšia metóda bola vynájdená Elmer Wolff, ktorý sa stal známy ako rebríkový proces. Pat Haggerty pripočítal rádioprijímaču TR – 1 aj skutočnosť, že IBM podpísala v decembri 1957 zmluvu na veľké percento vyrobených tranzistorov na dlhší čas po tom, čo Tom Watson Jr. kúpil v roku 1955 asi sto rádioprijímačov Regency TR – 1 a rozdal ich medzi členov vrcholového manažmentu IBM a povedal, že ak dokázala malá firma v Texase sfunkčniť tranzistory v rádioprijímači, môžu tranzistory urobiť funkčné aj naše počítače.

Zliatinový tranzistor bol vynájdený John Saby z General Electric v marci 1951. Nezávislo na sebe ho vytvoril aj Jacques Pankov z RCA. Prvé zliatinové tranzistory vyrobené v TI sa ponúkali pod označením TI 300, 301a 302. Ed Millis začína v TI v roku 1950 ako inžinier na výrobkoch pre armádu a v roku 1954 bol presunutý do výroby polovodičov. V tej dobe ako si spomína, žala výroba zliatinových tranzistorov série 300. Millis bol pridelený k štyrom zamestnankyniam pri tvorbe tranzistorov aby sa oboznámil s touto

problematikou. Bola to úplne ručná práca a netrvalo dlho a dámy ma naučili všetky operácie potrebné na zhotovenie zliatinového tranzistora, hoci to robili lepšie ako ja. Tak, napríklad, držíte kúsok mikroskopického vodiča s párom presných pinziet len tak proti sebe s kvapkou india na čip germánia pod mikroskopom. Tvorili sme malý tím a ak bol dobrý deň, tak sme vyrobili aj stovky tranzistorov aj keď som sa vrátil domov neskoro večer, lebo tie tranzistory bolo potrebné ešte hermeticky uzavrieť do kovových puzdiar. Proces zliatinovej výroby tranzistorov neumožňoval dobrú kontrolu šírky základne a najmä zisku a vysokofrekvenčného výkonu. Tranzistory boli vyrábané rovnako ale po kontrole podľa zisku boli označované. Tranzistory s nízkym ziskom sa označili ako TI 300 a z vysokým ziskom TI 302.

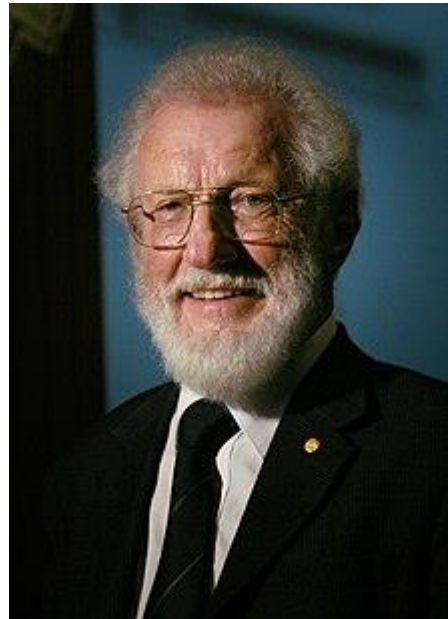
Zliatinové tranzistory sa vyrábali technológiou: tranzistory ťahané, bariérové a tranzistory mikrozliatinové pre dosiahnutie vyšších kmitočtov. Zliatinové tranzistory sa nazývajú podľa zliatinovej techniky, ktorou boli vyrábané. Postup pri ich výrobe je podobný ako zliatinových plošných diód a rozdiel je v tom, že sa súčasne vytvárajú dva prechody PN koaxiálne umiestnené na protiláhlych stranách doštičky použitého polovodiča. Emitor je vždy menší od kolektora. Pri liatinovom procese preniká zliatina Ge – In do doštičky typu – N a metalurgický prechod PN sa vytvorí v miestach, kde pri rekryštalizácii zliatiny zostane v rekryštilizovanom germánii



taká koncentrácia atómov india N_A , že platí $N_A = N_D$, kde N_D je koncentrácia donorov v pôvodnom germánii. Aby sa dosiahlo malej hrúbky bázy, musia prechody ležať veľmi blízko pri sebe. Rovnakou technikou možno vyrábať tranzistory typu PNP a NPN. Rozdiel je v tom, že základným materiálom je germánium typu – P a k vytvoreniu emitora a kolektora sa použije zliatina olova – antimónu. Zliatinové tranzistory sa vyrábajú iba z germánia, lebo pre kremík sa ukázala táto technológia úplne nevhodnou. Zliatinové tranzistora majú všetky výhody a nevýhody, ktoré so sebou prinášajú strmé prechody PN. Majú veľkú kapacitu kolektora, veľké elektrické pole v oblasti prechodu kolektora, ale opačne majú veľkú emisnú účinnosť emitora a malé sériové odpory emitora a kolektora.

Driftové tranzistory možno dosiahnuť riadením nerovnomerne rozdelených prímiesí v bázy, čo je veľmi ľahko uskutočniť difúziou prímiesí zo strany emitora alebo kolektora. Táto difúzia je základným technologickým postupom výroby všetkých driftových tranzistorov. Tento postup bol koncipovaný mladým nemeckým teoretikom v Darmstade.

Jej vynálezca, Dr. Herbert Kroemer sa pripojil k RCA v roku 1954, kde bol obchodne. Kroemer získal v roku 2000 Nobelovu cenu za jeho prácu v polovodičových hetero – konštrukciách, používaných vo vysokorýchlostnej a v optoelektronike. Titul PhD. z teoretickej fyziky získal v roku 1952 na univerzite v Göttingene v Nemecku s dizertačnou prácou o účinkoch horúcich elektrónov v novom tranzistore, ktorá mu vydláždila pôdu pre kariéru vo výskume polovodičových zariadení. Pracoval na mnohých výskumných laboratóriách v Nemecku a USA a vyučoval elektrotechniku na univerzite Colorado v rokoch 1968 až 1976. V 50. rokoch 20. storočia vynašiel driftový tranzistor a ako prvý poukázal na to, že v rôznych polovodičových zariadeniach je možné použiť heteroštruktúru. V roku 1960 navrhol koncept dvojitého heteroštruktúry lasera, ktorý je dnes centrálnym konceptom polovodičových laserov.



V roku 1954 boli zverejnené práce z oblasti difúzie a driftu tranzistorov. Ditrick, ktorý pracoval na mnohých výrobných linkách tranzistorov spomína: „Tieto tranzistory boli vyrobené za použitia špeciálneho procesu na príprave substrátu, ktorý bol vnútený germániu, ktorý bol dotovaný difúziou pomocou arzénu. Bolo ťažké kontrolovať hrúbku substrátu, pretože sme museli leptat’ jednu stranu rozptýleným arzénom. Prvý záznam o prototypu drift tranzistora sa uvádza v roku 1955 typu PNP. Komerčne bol uvedený pod označením 2N247 v roku 1956. Tranzistor pracoval do 30 MHz s výkonom 35 mW a H_{fe} 60. Tranzistor mal štvrtý vývod pripojený ku plechovému krytu pre lepšie tienenie v RF obvodoch. V tom období Schwartz a Slabý referovali na Electron Devices o vysokofrekvenčných tranzistoroch PNP a tvorbu základnej oblasti difúzie, ale vyhli sa podrobnostiam. V tomto čase drift tranzistory boli jedinou technológiou pracujúcou pri vysokých frekvenciách.



Podľa základných techník, ktorými sú vytvárané v monokryštále polovodiča oblasti potrebné elektrické vlastnosti, môžeme driftové tranzistory rozdeliť do štyroch skupín.

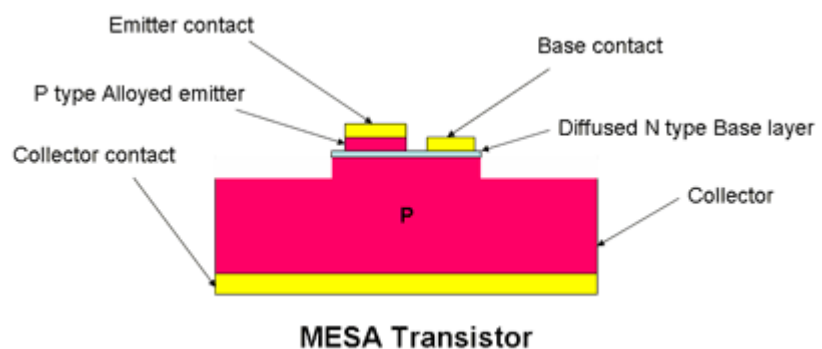
Difundované tranzistory, ktoré zhotovili Tanenbaum a Thomas metódou dvojitej difúzie. Princíp metódy je v tom, že difúzne konštanty rôznych prímiesí zapracovaných pri difúzii do polovodiča môžu byť navzájom odlišné. Napríklad u kremíku sú difúzne konštanty trojmocných atómov (Al, Ga a In) 10 až 100 krát väčšie než u päťmocných atómov. Napríklad, kremíkovú doštičku o mernom odpore niekoľkých ohmov na centimeter a vodivosti typu – N sa podrobí súčasne difúzii antimónu a hliníka. Po určitej dobe difúzie prenikne hliník hlbšie do kremíka ako antimón. Po difúzii sa doštička obrúsi a leptá tak, že vznikne prechodová vrstva PNP. Prívod k vrstve P tvoriacu bázu je z hliníkového drôtu, ktorý so zliatinovou technikou sa prepojí hornou vrstvou typu – N, až nastane ohmické spojenie s vrstvou tvoriacou bázu. Súčasne však legovaný drôt vytvorí s emitorovou vrstvou typu – N zliatinu typu – P a tým izolujúci prechod PN. Ohmické kontakty k emitoru a kolektoru sú vytvorené pomocou zliatiny Au – Sb.

Difundované tranzistory sú technologicky veľmi náročné a pomerne úzka báza prebiehajúca doštičkou až na jej povrch je veľmi citlivá na povrchové defekty a na tvorbu povrchových zvodov medzi emitorom a kolektorom. Najvhodnejšia sa stala technológia mesa.

Difúzne zliatinové tranzistory sú tranzistory, ktorých báza je vytvorená difúziou prímiesí s vodivosťou opačného typu, než má základný polovodič, emitor a kontakt k báze sú vytvorené zliatinovou technikou. Dosahuje sa s tým dobrá emisná účinnosť emitoru a dobrých kmitočtových vlastností tranzistora. Difúzne zliatinové tranzistory sa vyrábajú iba z germánia. Podľa spôsobu výroby emitoru a prívodov k báze rozdelíme ich na difúzne zliatinové a difúzne zliatinové – mesa. U oboch druhov týchto tranzistorov sa ako základný materiál používa germániová doštička typu – P, do ktorej sa nadifunduje antimón. Po obrúsení jednej strany doštičky vznikne štruktúra NP, u ktorej oblasť typu – P tvorí budúci kolektor. Ďalší postup technológie sa u oboch postupov líši. Konečný

tvar mesa sa dostane tak, že použitím vhodnej ochranej hmoty sa maskuje na hornej ploche doštičky plochy obsahujúce emitor a prívod k báze a germániová doštička sa

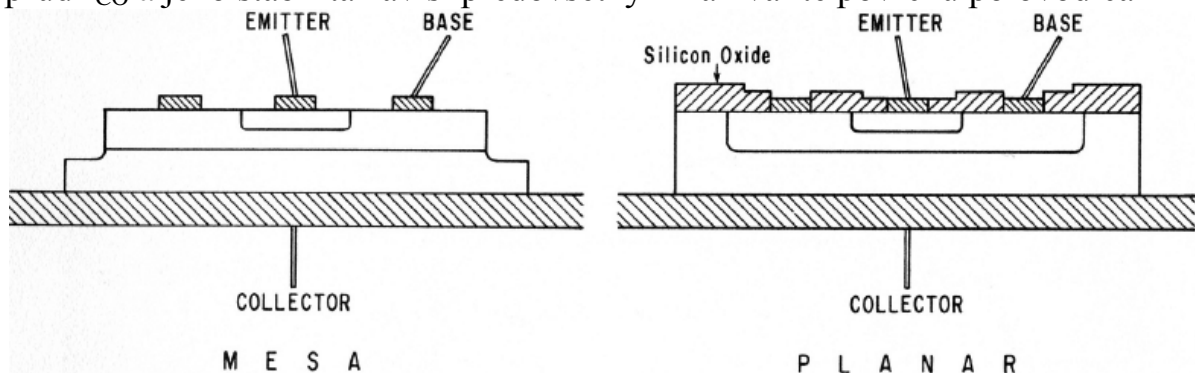
oleptá na konečný tvar nazývaný „mesa“. Výhoda tohto tvaru je v tom, že podstatne znižuje plochu kolektorového prechodu, a tým i jeho kapacitu, čo sa prejaví v dosiahnutí vyšších pracovných kmitočtov. Po vyleptaní tvaru mesa sa doštičky rozrežú a prispájajú k päťici puzdra.



Epitaxné a planárne tranzistory.

Nedostatkom difúzných tranzistorov je veľký odpor v oblasti kolektora, ktorý je pri funkcii tranzistora sériovo zaradený k záťažovému odporu. Zmenšenie odporu kolektora a zmenšením jeho merného odporu má za následok zmenšenie prierného napätia a zväčšenie kapacity kolektorového prechodu. Tieto nedostatky možno odstrániť vytvorením oblasti s veľkým odporom v tesnej blízkosti s kolektorovým prechodom PN, ale vlastnú oblasť kolektora je zhotovená z materiálu s malým odporom. Štruktúra celého kolektora je vytvorená dvojitou vrstvou obsahujúcou vrstvu pôvodného materiálu a malým odporom, na ktorej je tzv. epitaxným rastom vytvorená monokryštalická vrstva s veľkým odporom z toho istého polovodiča, ako bol pôvodný materiál. Na strane dvojitej vrstvy s veľkým odporom sa potom vytvorí difúznou alebo zliatinovou technikou potrebná tranzistorová štruktúra a tým vznikne tzv. epitaxný tranzistor, podobný typu mesa. Oblasť s veľkým odporom u kolektorového prechodu zaručuje dosiahnutie dostatočne vysokého prierného napätia na kolektore a jeho malú kapacitu, zatiaľ čo oblasť s malým odporom znižuje celkový odpor kolektora. U germániových epitaxných tranzistorov sa používa germánium o mernom odpore $0,001 \Omega$ na centimeter, na ktorú sa epitaxné naniesie vrstva o hrúbke 3 až $5 \mu\text{m}$ s merným odporom asi 10Ω na centimeter.

Planárne tranzistory, i keď dostali svoj názov preto, že prívody k jeho elektródam ležia v jednej rovine, vznikli pôvodne zo snahy, čo najviac zmenšiť zbytkový prúd kolektorového prechodu I_{CO} kremíkových tranzistorov. Malý prúd I_{CO} a jeho stabilita závisí predovšetkým na kvalite povrchu polovodiča



Na obrázku je možno porovnať štruktúru tranzistora mesa a planár.

v blízkosti kolektorového prechodu a na stabilite jeho vlastností. Experimentálne práce ukázali, že úspešnú povrchovú úpravu polovodiča možno dosiahnuť iba vtedy, ak povrch nepríde behom technologických procesov vôbec do styku s okolitou atmosférou. Po prvýkrát sa to podarilo uskutočniť Atalovi, Tanenbaumovi a Cheibnerovi pomocou vrstvy SiO_2 vytvorenej na kremíku, ale to už je oblasť vývoja kremíkového tranzistora.

Výkonové diódy

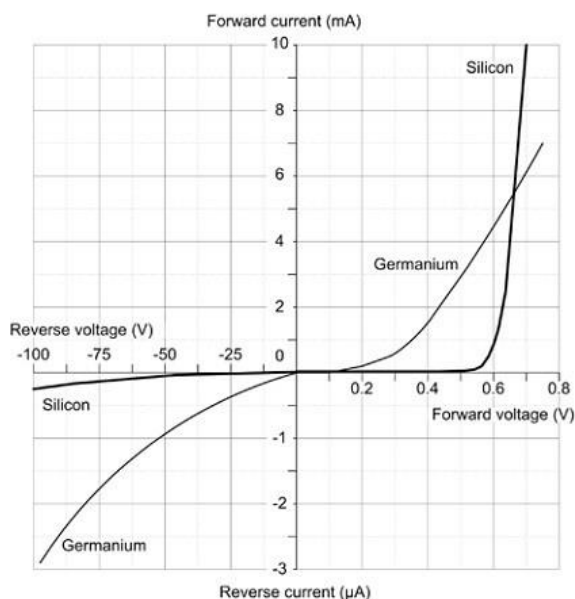
Malé signálne diódy (detektory) sa môžu použiť aj ako usmerňovač v nízkonapäťových a nízko prúdových usmerňovačoch alebo v aplikáciách, kde nie sú v obvode vystavené väčšiemu prehriatu a zničeniu. Na tieto účely boli vyrobené väčšie, robustnejšie výkonové diódy. Na obrázku je plošná dióda pre zaťaženie 0,3A a napätím 50 voltov s označením 1N4001. Výkonová dióda má oveľa väčšiu PN prechodovú plochu, čo má za následok vysokú schopnosť usmernenia väčších prúdov a reverzné blokovanie napätia do niekoľkých stoviek voltov.



Na obrázku je výkonová usmerňovacia dióda novšieho prevedenia KY 189, ktorá pracuje do 850 voltov s prúdovým zaťažením 4 A. Výkonová dióda nie je vhodná pre vyššie frekvencie, ale sú k dispozícii špeciálne drahé vysokofrekvenčné a výkonné diódy pod označením „Schottky diódy“, ktoré zvládnu napätie do 600 voltov a prúdové zaťaženie až 40 A. Výkonové diódy poskytujú nekontrolovateľné usmernenie napájania a používajú sa v aplikáciách, ako sú nabíjačky

akumulátorov a jednosmerné napájacie zdroje akými sú usmerňovače a meniče. Vzhľadom na ich vysokú prúdovú a napäťovú charakteristiku je ich možno použiť aj ako diódy na sieťové meniče. Na obrázku je vidieť voltampérovej charakteristiky germániovej a kremíkovej výkonovej diódy.

Výkonové diódy sú navrhované tak, aby ich teplotný odpor bol v medziach 0,1 až 1 °C na výkon jedného Wattu zaťaženia. Ak sa pri napájacej dióde použije striedavé napätie, počas kladného polčasu bude dióda v priepustnom stave a počas záporného polčasu dióda bude blokovať toku prúdu, čo je známe u všetkých usmerňovacích diód. Výkonové diódy sa môžu používať jednotlivo alebo do mostíkového zapojenia.



GERMANIOVÉ PLOŠNÉ A VÝKONOVÉ USMĚRŇOVAČE

Typ	Charakteristické údaje					Mezní údaje						
	$I_{AK\ min}$	při	U_{AK}	$I_{KA\ max}$	při	U_{KA}	I_{AK}	$I_{AKM\ max}$	$U_{a\ cf}$	U_{KA}	P_d	$R_p\ min$
	A		V	mA		V	A	A	V	V	W	k Ω
Germaniové plošné usměrňovače 0,3 A¹⁾						Nevyrábí se - náhrada KY701—KY705						
1NP70	0,3		0,5	3		30	0,3	15	12	36	0,3	1,5
2NP70	0,3		0,5	2		50	0,3	15	20	60	0,3	4,7
3NP70	0,3		0,5	1,5		100	0,3	15	38	110	0,3	10
4NP70	0,3		0,5	1		200	0,3	15	70	210	0,3	18
5NP70	0,3		0,5	1,3		150	0,3	15	55	160	0,3	15
6NP70	0,3		0,5	0,7		250	0,3	15	90	260	0,3	22
Germaniové plošné usměrňovače 0,5 A¹⁾						Nevyrábí se - náhrada KY701—KY705						
11NP70	0,5		0,5	3		30	0,5	25	12	36	0,3	1,5
12NP70	0,5		0,5	2		50	0,5	25	20	60	0,3	4,7
13NP70	0,5		0,5	1,5		100	0,5	25	38	110	0,3	10
14NP70	0,5		0,5	1		200	0,5	25	70	210	0,3	18
15NP70	0,5		0,5	1,3		150	0,5	25	55	160	0,3	15
16NP70	0,5		0,5	0,7		250	0,5	25	90	260	0,3	22
Germaniové výkonové usměrňovače 3 A²⁾						Nevyrábí se - náhrada KY708—KY710						
20NP70	3		0,5	30		18	3	50	6	18	0,6	0,4
21NP70	3		0,5	20		30	3	50	10	30	0,6	0,7
22NP70	3		0,5	15		50	3	50	16	50	0,6	1,7
23NP70	3		0,5	10		100	3	50	30	100	0,6	4
24NP70	3		0,5	8		150	3	50	45	150	0,6	6,4
25NP70	3		0,5	6		200	3	50	60	200	0,6	12,5
Germaniové výkonové usměrňovače 5 A²⁾						Nevyrábí se - náhrada KY708—KY710						
30NP70	5		0,5	25		18	5	70	6	18	0,6	0,4
31NP70	5		0,5	18		30	5	70	10	30	0,6	0,7
32NP70	5		0,5	13		50	5	70	16	50	0,6	1,7
33NP70	5		0,5	9		100	5	70	30	100	0,6	4
34NP70	5		0,5	7		150	5	70	45	150	0,6	6,4
35NP70	5		0,5	5		200	5	70	60	200	0,6	12,5
Germaniové výkonové usměrňovače 10 A²⁾						Nevyrábí se - náhrada KY708—KY710						
40NP70	10		0,5	20		18	10	100	6	18	0,6	0,4
41NP70	10		0,5	15		30	10	100	10	30	0,6	0,7
42NP70	10		0,5	11		50	10	100	16	50	0,6	1,7
43NP70	10		0,5	8		100	10	100	30	100	0,6	4
44NP70	10		0,5	6		150	10	100	45	150	0,6	6,4
45NP70	10		0,5	4		200	10	100	60	200	0,6	12,5
Germaniové výkonové usměrňovače 20 A²⁾						Náhrada KY715—KY717						
81NP71	20		0,6	15		40	20	100	12	42	12	0,33
82NP71	20		0,6	12		80	20	100	24	84	12	0,56
83NP71	20		0,6	6		150	20	100	40	157	12	1,2

1) S chladičí plochou 25 cm² se může $I_{AK\ max}$ zvýšit na dvojnásobek

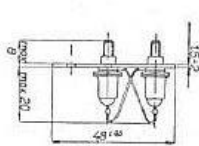
2) Usměrňovače se musí opatřit Al chladičí plochou větší než 150 cm²

3) Usměrňovače se musí opatřit Al chladičí plochou větší než 220 cm²

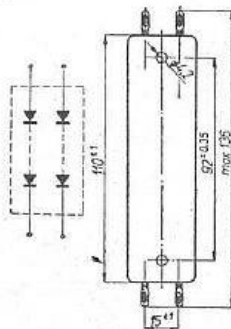
4) Usměrňovače se musí opatřit Al chladičí plochou větší než 440 cm²

5) Usměrňovače se musí opatřit Al chladičí plochou větší než 350 cm², která se musí ofukovat proudem vzduchu s rychlostí 10 m/s

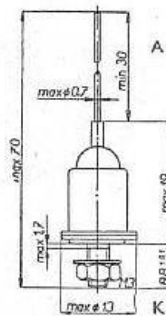
Všechny údaje platí při teplotě okolí +25°C



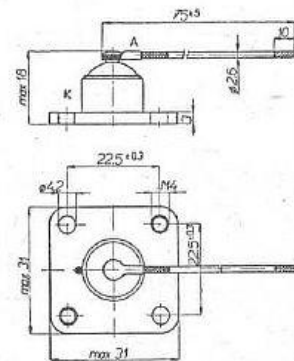
KA220/05



KY298
KY299



1NP70—16NP70



20NP70—45NP70

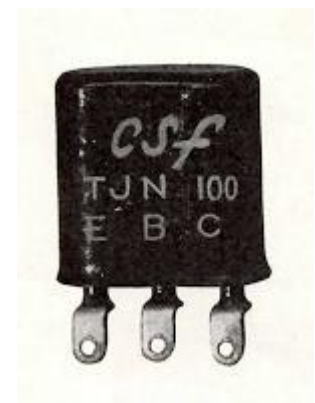
Každý typ usmerňovacieho obvodu môže byť klasifikovaný ako nekontrolovaný, čiastočne kontrolovaný alebo úplne kontrolovaný. Nekontrolovateľný usmerňovač používa iba diódy, čiastočne kontrolovaný usmerňovač je zmesou diód a tyristorov a úplne riadený usmerňovač používa tyristory (SCR). Najčastejšie sa používa v základných elektronických zariadeniach univerzálna usmerňovacia dióda typu 1N4001 až 1N4007, ktoré pracujú s napätím 50 až 1000 voltov a prúdom do jedného ampéra.

Výkonové germániové tranzistory

Spoločnosť Philips uviedol vo svojich pobočkách Valvo v Nemecku a Radiotechnique vo Francúzsku v roku 1954 prvý výkonový germániový tranzistor OC 15. Po ňom nasledoval model 100 OC. Ich výkon v zapojení v triede A bol 3 W a v zapojení v triede B 5 W. Napriek zdanlivej krehkosti mali tranzistory slušný tepelný odvod a začalo ich vyrábať viacero výrobcov. OC 15 mal komplikovanú konštrukciu. Tri vrstvy oceľového plášťa, tri sklenené izolované priechodky, väčšiu izolovanú dolnú časť s pripojením na chladič. Tranzistor mal zložitejšiu izoláciu, lebo konektor nebol pripojený na puzdro ako tomu bolo neskôršie u modelu OC 16.



Radiotechnique inzeroval OC 15 ako prototyp typu N v septembri 1955 a bol to jediný výkonový tranzistor v katalógu na rok 1955. Na obrázku je vidieť model OC 15 a 100 OC. Ďalším výkonovým germániovým tranzistorom vo Francúzsku bol CSF TJN 100, ktorý bol ohlasovaný v roku 1955, ale inzerovaný bol až v marci 1956 v Salón dne la Détachée, pre použitie v PA systémoch, meničoch a na diaľkové ovládanie. Nový tranzistor disponoval výkonom 2 W s trvalým zaťažením 0,75 W v triede A a v triede B 3 W. V roku 1956 boli ohlasované nové výkonové tranzistory s kolektorovým výkonom až do 10 W. V tom čase Toute la Radio napísalo: „Dúfajme, že to môže byť čoskoro komerčne dostupné.“ Výkonový germániový tranzistor



CFTH TH8501 bol uvedený v roku 1956 ako nízkočfrekvenčný zosilňovač s maximálnym výkonom 3 W, ktorý vidieť na obrázku.



Tranzistor OC 15, ktorý bol zložitý na výrobu a zastaraný konštrukčne a v dôsledku jeho pripojenia kolektora, bol tento model nahradený modelom OC 16, ktorý bol ohlásený v júny 1957. Spoločnosť CFTH mali údajne v programe niekoľko modelov s výkonom 2,5 W, pre nízkočfrekvenčné zosilňovače, ale v predaji nikdy neboli. V Nemecku bol výkonový tranzistor OC 16 k dispozícii od roku 1956 a vyrábal sa v dvoch prevedeniach.

Bol určený ako univerzálny výkonový tranzistor pre použitie v audio výstupoch alebo ako spínače a v DC meničoch. Sortiment germániových výkonových tranzistorov bol rozšírený o typy OC 22 a OC 30. OC 22 je konštruovaný pre vysokofrekvenčné spínače s frekvenciou 2,5 MHz. OC 30 je určený ako tranzistor stredného výkonu v triede A a v triede B a ako prvý tranzistor je osadený do puzdra TO3 so šírkou 18 mm.



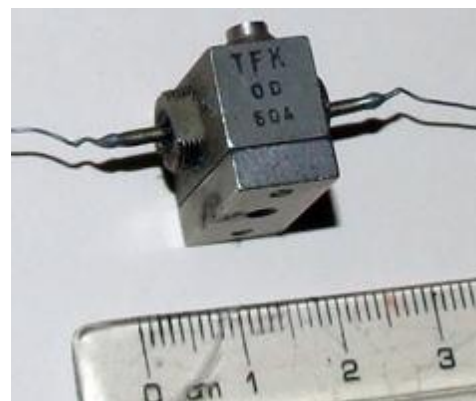
Spoločnosť Raytheon v roku 1955 uviedol tranzistor 2N272 v štandardnom oválnom puzdre a bol určený na zapojenie v triede B. O niečo neskôr prišiel tranzistor CK 750, ktorý sa objavil ku koncu roka 1955. Tieto tranzistory neboli úspešné, pretože medzi kovovou plochou a plastovým povrchom tranzistora po čase prenikala vlhkosť. Kovové puzdra



zavedené okolo roku 1955 vytvorili príležitosť lepšieho prenosu tepla priletovaním oblasti emitora k hornej časti puzdra. S ohľadom na problematiku utesnenia u modelu CK 750, ktorý bol v kovovom puzdre s spolu s plochým chladičom, ktorý umožňoval priskrutkovanie ku kovovému šasi. Tieto tranzistory boli použité pre audio výstup v zariadeniach Emerson 868. Je to vzácny tranzistor, ktorý sa objavil v roku 1956. Pri zapojení v triede B dosahoval CK 751 výkon 500 mW. V roku 1957 Raytheon predstavila výkonový germániový tranzistor CK 753 v puzdre TO3. Je to vzácny tranzistor a jeho výrobná technológia bola stará už pri jeho zavedení do výroby, lebo v tom čase už RCA ponúkala tranzistor 2N1490 kremíkový s výkonom 60 W.



Prvým výkonovým germániovým tranzistorom firmy Telefunken bol OD 604, ktorý bol predstavený koncom roka 1955. Šlo o germániový PNP tranzistor v neobvyklom axiálnom prevedení a predával sa väčšinou bez chladiča v tvare kocky, ktorý sa skladal z dvoch častí spojených skrutkami. Tento tranzistor zvládol maximálny prúd kolektora 2A a jeho maximálny výkon bol 1,3 W. Je to vzácny tranzistor, lebo bol použitý iba v troch zariadeniach zapojený v triede B, kde



dosahoval výkonu 4 W. V roku 1958 vyrobil Telefunken nízkočfrekvenčný zosilňovač ELA V630i s výkonom 4 W napájaný na batériu so siedmimi tranzistormi a na výstupe s tranzistormi OD 604 zapojené v triede B. Tranzistor OD 605 bol vyvinutý a uvedený na veľtrhu v Hanoveri v roku 1957. Jeho výkon dosahoval pozoruhodných 15 W s kolektorovým prúdom až 10 A. V marci 1958 uviedla Telefunken ďalší výkonový tranzistor pod označením OD 603, ktorý mal vývod z kolektora prispájkovaný priamo na hlavičku tranzistora. Tranzistor bol uzavretý v atmosfére suchého vzduchu, ktorý lepšie prenáša teplo. Príruba bola vyrobená na uchytenie chladiča pevne s izolačnou podložkou zo sľudy. Tieto tranzistory umožnili maximálny výstupný tepelný rozptyl 4 W.



Čoskoro začali mať záujem o tranzistor vo firme Blaupunkt pre ich hybridný automobilový rádioprijímač, kde boli použité v triede B v koncovom stupni. U tranzistora OD 603 prechádza emitor cez otvor v základnej doske a kolektor je prispájkovaný priamo do hlavičky tranzistora. V Telefunken začali svoje drift tranzistory vyrábať v roku 1958 pod označením OC 615 typu PNP.

Kremíkové tranzistory

Germánium popri určitých výhodách v počiatočnom vývoji tranzistorov ma aj vážny nedostatok. Tranzistory vyrobené z germánia majú oveľa väčšie unikajúce prúdy a ak stúpa teplota, ich prechody sa doslova utopia v mori voľných elektrónov. Tieto tepelné obmedzenia sa ukázali závažnými pre výrobcov rádioprijímačov a pre ozbrojené sily. V spoločnosti Bell Labs si tento problém uvedomovali a začali výskum polovodiča kremíka na začiatku 50. rokov 20. storočia. Georg Teal pracoval na oddelení chemickej fyziky s technikom Ernie Buehler, kde vyrábali jednoduché kryštály kremíka a ich dopovanie s malými dávkami nečistôt. Do roztaveného kremíka pridávali špecifické nečistoty na zmenu elektrických vlastností kryštálov. Prvky z piateho stĺpca periodickej tabuľky, ako je arzén alebo antimón, vytvárajú prebytok elektrónov v kryštalickej štruktúre, čím sa získa N – typ kremíka. Prvky tretieho stĺpca, akým je bór alebo gálium, vytvárajú deficit elektrónov, a tak sa vytvára P – typ kremíka. Pridaním prvej nečistoty a potom druhej do roztaveného kremíka, z ktorého potom pomaly vytiahli kryštál, vytvorili Teal a Buehler prechodové oblasti nazývané PN (junction) medzi dvoma druhmi kremíka.

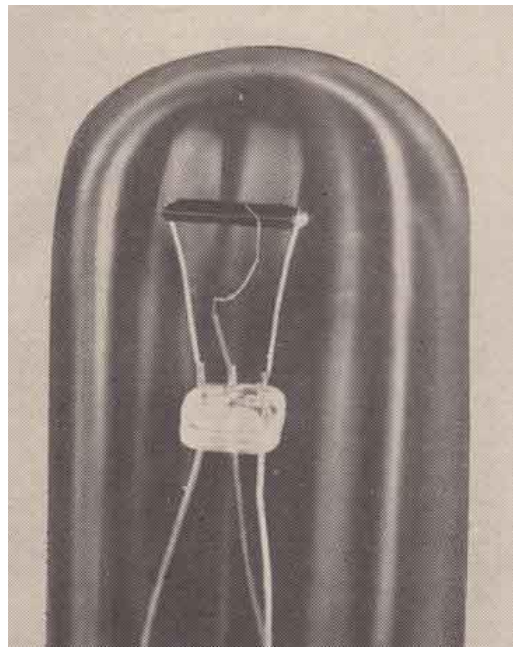
Medzičasom Calvin Fuller začal experimentovať v príslušnom laboratóriu s rozptyľovaním atómov nečistôt z horúcich plynov na povrchu germánia alebo kremíka, technológie, ktorá sa neskôr použila pri výrobe integrovaných obvodov. V decembri 1953 Fuller bol úspešný a Shockley začal budovať nový výskumný tím, aby sa pokúsil vyrobiť kremíkové tranzistory pomocou tejto techniky. Začiatkom roka 1954 vytvorili Fuller a Gerald Pearson PN prechod rozptýlením tenkej vrstvy atómov bóru do plátku kremíka N – typu, čím sa na jeho povrchu vytvorila P – vrstva bohatá na diery. Tieto diódy generovali výraznejšie elektrický prúd, keď na ne dopadalo slnečné svetlo. Dňa 25. 4. 1954 Bell Labs ohlásil „solárnu batériu“, prvú fotovoltaiickú bunku so ziskom okolo 10%.

Morris Tanenbaum vyrába prvý kremíkový tranzistor v spoločnosti Bell Labs v januári 1954. Kremíkové zariadenia, ktoré fungujú v teplotnom pásme – 55 až +125 °C, sa stali možnými, keď Dupont začal dodávať vysokokvalitný polovodičový materiál. Morris použil pri tvorbe kremíkoveho tranzistora techniku Morgan Sparks a Gordon Teal. Pritom vedenie laboratória sa domnievalo, že nie je vhodný pre komerčnú výrobu, čo umožnilo spoločnosti Texas Instruments požiadať o patent o niekoľko mesiacov neskôr. Teal po opustení Laboratória Bell Labs do TI zorganizoval výskumné laboratórium aj tím spolupracovníkov. Teal najal tím mladých vedcov a inžinierov vedený chemikom Willisom Adcock, začali pracovať na kremíkových tranzistoroch. Použitím vysokočistého kremíka od spoločnosti Dupont urobili svoj prvý úspešný kremíkový tranzistor so štruktúrou NPN pomocou technológie postupných prechodov dňa 14. 4. 1954 a 10. 5. 1954 ho prezentoval na konferencii Inštitútu rádiových inžinierov v Daytone v štáte Ohio a oznámil, že kremíkové tranzistory sú vo výrobe a k dispozícii na predaj. Na obrázku je propagačný materiál na prvý kremíkový tranzistor z roku 1954.

S malou konkurenciou dominovala TI na trhu s kremíkovými tranzistorami v najbližších rokoch a výrazne sa dostala do pozície popri spoločnosti Raytheon, ako jedného z najväčších dodávateľov tranzistorov na trhu. Do konca 50. rokov 20. storočia sa stal kremík priemyselným polovodičovým materiálom. V čase, keď prišiel Teal do TI, mala firma takmer 1800 zamestnancov a vyrábala germániové tranzistory pod vedením inžiniera Marka Shepherda. Teal tvrdo pracoval, ale bol aj tvrdohlavý a tieto vlastnosti mu boli dobré i v laboratóriu v Bell Labs,



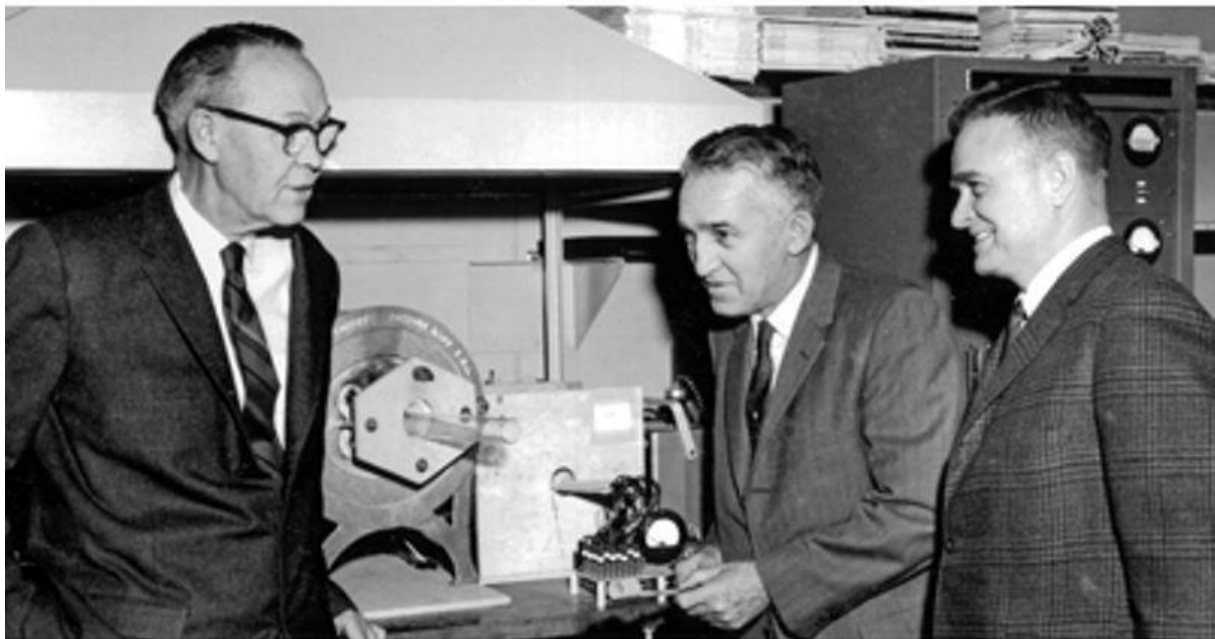
kde na konci 40. rokov pokračoval vo svojom programe na tvorbe kryštálov, na ktorých tvrdo pracoval hodiny takmer bez žiadnej podpory manažmentu. Možno, že tento priekopnícky výskum urobil z neho osobnosť v rozvíjajúcom sa priemysle, ktorý sa ukázal ako rozhodný pri prijímaní mladých ľudí do skupiny. V tom čase týmto krokom získal niekoľko vynikajúcich vedcov. Medzi jeho novými zamestnancami boli i Willis Adcock, ktorý bol podobne ako Teal fyzikálny chemik s PhD. z Brownovej univerzity v Providence. Teal sa k TI pripojil začiatkom roka 1953. Adcock začal viesť malú skupinu zameranú na výrobu kremíkových tranzistorov, ktoré by splňali vojenské podmienky. V tom čase to nebolo ľahké, vzhľadom na vysokú teplotu tavenia kremíka 1415 °C a jeho veľkú reaktivitu roztaveného kremíka, z ktorého sú vytvárané kryštály a reaguje takmer s každou keramickou nádobou, v ktorej sa nachádza. Dokonca i tavený kremeň pomaly reaguje s taveninou a kontaminuje ho s kyslíkom a inými nečistotami, ktoré sa potom nachádzajú v kremíkovom kryštály a degradujú jeho elektrický výkon. Na rozdiel od germánia, ktorý by mohol byť čistený pomocou zón – rafinácie, tak aby nečistoty mohli byť znížené na jednu miliardinu, tak najčistejší kremík musí byť na oveľa väčšej úrovni čistoty. Kým boli kremíkové prechody PN vyrobené viac ako pred desiatimi rokmi, odkedy Russell Ohl dosiahol prvý takýto úspech v Bell Labs v roku 1940, urobiť úspešným prechod NPN alebo PNP plošného tranzistora z kremíka bolo oveľa ťažšie. Hlavným problémom bol zánik tzv. menšinových nosičov (elektrónov typu – P alebo otvorov – dier typu – N) kvôli nečistotám v základnej vrstve. Elektróny sa ľahko „rekombinujú“ s dierami v akýchkoľvek nečistotách v základnom materiáli. Z toho vyplýva, že príliš málo z týchto menšinových nosičov má šancu prežiť pri prekročení tohto kľúčového prechodu medzi emitorom a kolektorom, aby dosiahol dostatočný prúdový prírastok alebo zosilnenie v kremíku. Na obrázku je prvý kremíkový tranzistor z Bell Labs zo začiatku roka 1954. Jediným riešením tohto problému, okrem snahy o vyčistenie kremíka, bolo vytvoriť základnú vrstvu extrémne tenkú, aby menšinový nosiči mali nejakú šancu prejsť z jednej strany na druhú. Adcock a Teal a ich tím zápasili s týmito problémami viac ako rok. Potom v apríli 1954, pomocou špeciálneho kremíka s vysokou čistotou zakúpeného od spoločnosti DuPont za 500 dolárov za libru, sa podarilo vytvoriť vhodnú NPN štruktúru s oblasťou emitora opatrne dotovanou na zvýšenie aktuálneho zisku a P – typu s hrúbkou približne 25 μm.



Po rozrezaní kryštálu na kúsky v dĺžke 1,27 cm a pripojenie elektrických kontaktov ráno 14. apríla 1954 skupina Adcock pripravila test. Čoskoro dostal Haggerty nadšenú správu od Teal, ktorý ho požiadal, aby prišiel na test. O pár minút neskôr pozoroval kremíkový tranzistor v akcii. Uvedomujúc si, že by mohla spoločnosť dosiahnuť rovnakého výsledku, Teal rýchlo napísal príspevok ma prezentáciu na konferenciu v Dayton. A nebolo mu všetko jedno, keď Bell Labs ohlásil kremíkovú solárnu batériu iba o mesiac neskôr. V skutočnosti už niekoľko mesiacov skôr vyrobila pracovný kremíkový tranzistor v Bell Labs. V januári 1954 uskutočnil Morris Tanenbaum, keď pracoval ako člen výskumnej skupiny v Bell Labs funkčný kremíkový tranzistor, ale vedenie tento úspech udržala v tajnosti, zatiaľ čo výrobca z Texasu sa poponáhlal, aby ho oznámil.

Morris Tanenbaum prišiel do Bell Labs v júni 1952 po získaní titulu z fyzikálnej chémie na univerzite John Hopkins v Baltimore a Princetonskej univerzite v New Jersey. Pracoval na tvorbe veľkých kryštálov z rôznych polovodičov a testoval ich vlastnosti. Koncom roka 1953 ho Shockley pozval, aby sa pripojil k tímu, ktorý bol vytvorený, aby vyvinul kremíkové tranzistory. Tanenbaum pokračoval v práci s Buehler, bývalým technikom Teal, ktorého označil za majstra remeselníka v stavaní prístrojov a rastúcich polovodičových kryštálov. Buehler pracoval na technike rýchlosti, pri ktorej sú atómy nečistôt (akými sú gálium a antimón) začlenené do taveniny kryštálu, závisí vo veľkej miere od rýchlosti rastu kryštálov od rýchlosti vyťahovania z taveniny. Obe nečistoty sú prítomné v tavenine súčasne, ale rýchlosť, pri ktorej vykryštalizuje jeden z nich, závisí od rýchlosti ťahania. Tento proces umožňoval tímu vytvoriť oveľa užšie základné vrstvy s hrúbkou iba 13 až 25 μm , čo sa ukázalo ako kľúčové pre obmedzenie zániku menšinových nosičov. Tanenbaum vyrezal kúsok 12,5 mm z jedného kremíka s vysokou čistotou, ktorú vyrábala Buehler pomocou špeciálnych vzoriek od firmy DuPont, potom pripevnil hliníkový kábel k úzkej základnej vrstve a opatrne znovu zohrial kremík na obnovenie vrstvy typu – P. Dňa 26. januára 1954 podľa denníka dosiahol dostatočný elektrický prúd a teda zosilnenie v NPN kremíkovom tranzistore. Neskôr si Tanenbaum zaspomínal po päťdesiatich rokoch. Verím, že to boli prvé vyrobené kremíkové tranzistory a keď sme robili prvé kremíkové tranzistory mysleli sme na patentovanie, ale rozhodnutie bolo iné z dvoch dôvodov: že to nestojí za to, lebo už iný výrobca vyrába podobnú techniku pri raste kremíkoveho ingotu. Druhým bol proces rastu, ktorý patentoval General Electric Co. Jednoducho to nešlo kontrolovať a z výrobného hľadiska to jednoducho nevyzeralo atraktívne. V tom čase v Bell Labs Shockley a jeho skupina sa sústredila na adaptáciu nového difúzneho procesu propagovaného Fullerom na výrobu germániových a kremíkových tranzistorov. Predpoklad sa zdal byť sľubnejší ako sa ukázalo, pretože to muselo byť podstatne viac kontrolované s možnosťou vyrobiť oveľa tenšie základné vrstvy, iba niekoľko μm silné, aby mohli pracovať na vyšších

frekvenciách. Počnúc rokom 1952 chemik laboratória v Bell Labs Calvin Fuller preukázal, ako by mohli byť nečistoty zavedené do germánia a potom do kremíka tým, že sa vystavia vysokoteplotným plynom obsahujúci požadované prísady.



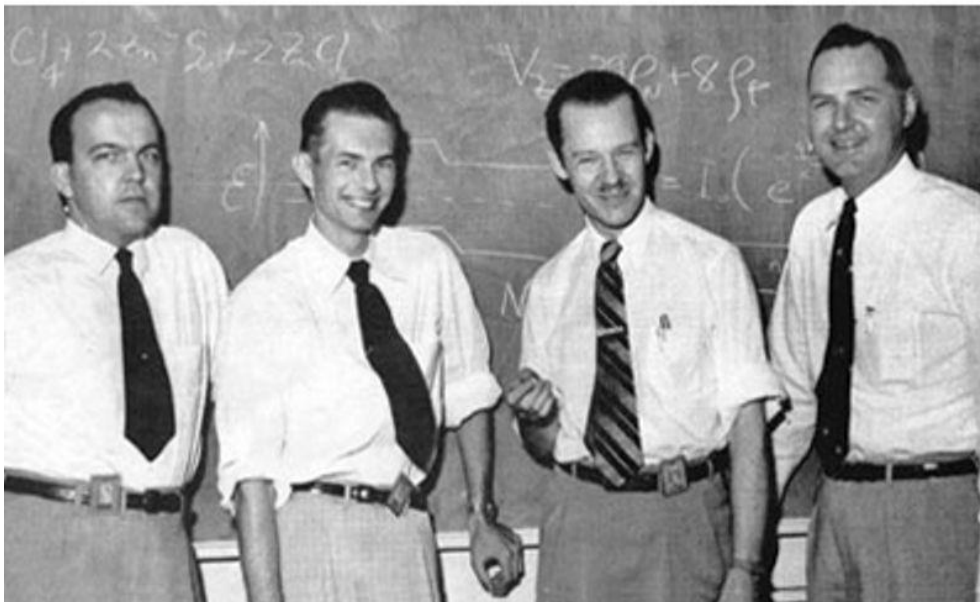
Calvin Fuller v okuliaroch , Carl Frosch a usmievajúci sa Lincol Derck pri prvej difúznej peci v Bell Labs.

Úpravou času a teploty expozície mohol presne kontrolovať množstvo nečistôt, ktoré sa zaviedli, a ich hĺbku prieniku s presnosťou vyššou ako jeden μm , oveľa lepšie ako je možné dosiahnuť technikami postupných spojov. Na začiatku roka 1954 spolupracoval s inžinierom Daryl Chapin a fyzikom Gerald Pearson na difúznej vrstve atómov bóru do plátok N – typu kremíka, tvoriace plošne PN

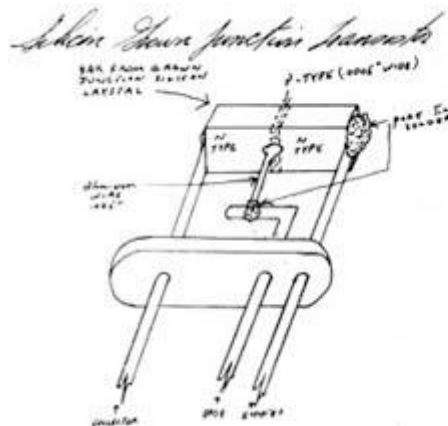
prechody pod povrchom. Tým, že svieti svetlo na tieto prechody, ktoré vyvolal silný elektrický prúd cez fotovoltaiického javu objaveného Ohl v roku 1940, dostať účinnosti premenenej energie až na 6 %. Spoločnosť Bell Labs oznámila 26. 4. 1954 túto slnečnú batériu, nazvanú „Solárna batéria“. Do konca 50. rokov už napájali slnečné batérie vidiecke telefónne systémy a kozmické satelity.

Neskôr v roku 1954 Charles Lee použil difúziu, aby vytvoril tranzistory so základnými vrstvami len s mikrometrovou hrúbkou, ktoré by mohli pracovať vo frekvenciách do 170 MHz, teda desaťkrát vyššou ako predchádzajúce tranzistory. V marci 1955, použijúc kremíkové doštičky, do ktorých Fuller rozptýlil dve rôzne nečistoty, aby vytvorili trojvrstvový NPN sendvič, chemik Morris Tanenbaum a jeho technik D. E. Thomas vyrobili tranzistory difúznej bázy s kremíkom. V januári 1956 uskutočnil Bell Labs tretie sympóziu o tranzistorovej technológii, ktoré sa venovalo týmto difúznym technikám.

V Texas Instruments začala od roku 1953 skupina mladých vedcov Willis Adcock, Ed Jackson, Mort Jones a Jay Thornhill pod vedením Gordon Teal pracovať na vývoji kremíkového tranzistora na obrázku zľava.



Tejto skupine sa podarilo vyrobiť prvý komerčne vyrábaný kremíkový tranzistor. Tranzistor bol zostavený podľa návrhu Mort Jones 14. 4. 1954, ktorý vidieť na obrázku. Tranzistor bol typu NPN plošný na základnej vrstve iba 0,5 mm

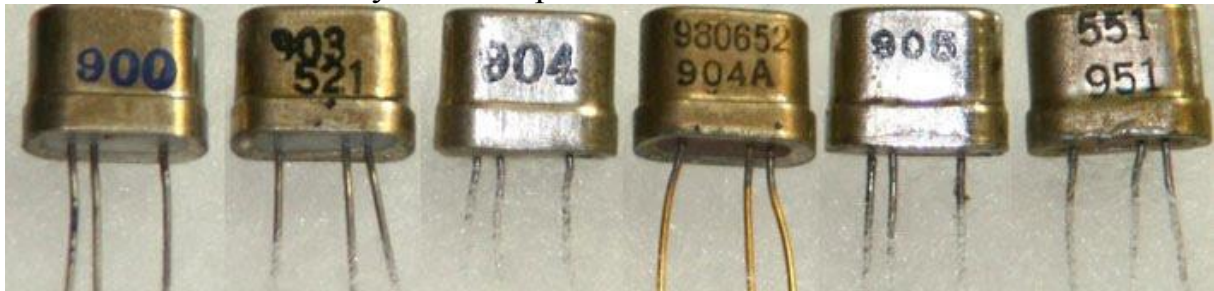


hrubej. Hliníkový drôt bol upravený na kontakt s bázou a elektricky zváraný na mieste. Vzhľadom k tomu, že drôt je hrubší ako základňa sa očakávalo, že drôt preklenie spojenie pásma NPN. Pri použití hliníka to bolo vyriešené, pretože vytvorený P – typ iba zväčšil zónu okolo zvaru. Po ďalšom čistení každý koniec tyče bol poniklovaný a spájkovanie sa previedlo štandardným spôsobom. Ďalej nasledovalo meranie. Bolo vyrobených asi 150 týchto tranzistorov, z ktorých niekoľko bolo predstavených aj Daytone, na znak toho, že kremíkový tranzistor je komerčne vo výrobe.

Teal pripomína dramatické okolnosti okolo verejného oznámenia kremíkového tranzistora na konferencii IRE v Daytone v štáte Ohio v roku 1954. „V priebehu dopoludňajšej rozpravy sa ozývalo z reproduktorov, že vývoj kremíkového tranzistora možno očakávať v čase niekoľkých rokov. Niektorí zástupcovia firiem radili, aby sa uspokojili s germániovými tranzistorami. My z TI sme to počúvali s veľkým rešpektom a pritom z nadšením, pretože som mal za hrst' kremíkových tranzistorov vo vrecku. S týmto vedomým Teal nemohol urobiť viac, ako keď oznámil, že TI už kremíkové tranzistory vyrába, na rozdiel od dopoludňajšej rozpravy. Potom Teal vytiahol gramofón a demonštroval výkonnosť kremíkového tranzistora ako zosilňovača. Obvod s germániovým tranzistorom počas reprodukcie namočil do oleja s teplotou 150 °C, pričom reprodukcia sa za krátky čas odmlčala. Potom vzal obvod z kremíkovým tranzistorom a namočil ho do toho istého oleja s teplotou 150 °C a reprodukcia pokračovala bez väčších zmien ďalej. Kremíkové tranzistory rozdane účastníkom konferencie zaistili spoločnosti TI budúcnosť a dal jej stále miesto v priekopníckej oblasti polovodičov. Teal sa vyjadril v časopise Fortune v novembri 1961: „Kremíkový tranzistor bol zlom v TI histórii, pretože s týmto predstihom získal veľký náskok pred konkurenciou v kritickom elektronickom výrobku. Neexistovala účinná hospodárska súťaž v kremíkových tranzistoroch až do roku 1958. TI tržby vzrástli takmer kolmo a spoločnosť bola náhle v prvej lige medzi výrobcami polovodičových súčiastok.“ Niektoré spoločnosti mali rozpracované technológie výroby kremíkových tranzistorov, ale nedokázali ich uplatniť pri zhotovení tranzistora.

Prvé komerčné kremíkové tranzistory

Prvé komerčné tranzistory vyrobené v Texas Instruments sa uviedli pod označením TI 900, po ktorom nasledovali 901 a 902 v plechovom kryte s hermetický uzavretou spodnou časťou s vývodmi pre emitor bázu a kolektor. Typ X – 15 bol experimentálny na otestovanie lepšieho odvodu tepla z plošného tranzistora s výkonom 150 mW až do výkonu 1 W. Prvé X – 15 boli naplnené silikónovým olejom, ktorý predstavoval chladič a lepší odvod tepla. Vo výrobe bol olej zmenený na oxid hlinitý a z X – 15 sa stal komerčný tranzistor pod označením TI 951, predstavený ku koncu roka 1954 a bol prvým kremíkovým tranzistorom stredného výkonu od spoločnosti TI.



Na obrázku sú prvé sady kremíkových tranzistorov od Texas Instruments

Tranzistory 900, 901 a 902 boli ešte na konci roka nahradené typmi 903, 904 a 905, ktoré mali maximálny stratový výkon 150 mW pri teplote 25 °C a boli odstupňované podľa rastúceho zisku 30 dB na 36 dB a zvyšujúcou sa frekvenciou 4MHz až 6 MHz. Tranzistory série 951, 952 a 953 mali maximálne prevádzkové napätie 50 voltov, 80 voltov a 120 voltov, hodnoty boli uverejnené v Bulletin DL – S august 1956. V rovnakom období TI uviedla tranzistory 2N243 a 2N244 s technickými údajmi podobnými s tranzistorom 951, ale mali lepší zisk. Tranzistory pod označením 2N117 a 2N118 boli komerčné verzie pre armádu uvedené v júni 1956. Tieto série tranzistorov neboli vhodné ako výkonové, pre svoj výkon a nedostatočný odvod tepla z kolektora. V roku 1955 vyrobili výkonový tranzistor pod označením X – 36 pre servo zosilňovače, ktorý má asi päťkrát väčší prierez ako prvé kremíkové tranzistory a spája sa koniec kolektora na hlavičku z mede. V predaji bol pod označením TI 970 alebo 2N122 s výkonom 8,5 W pri izbovej teplote.



Na začiatku roka 1955 sa výskumníci spoločnosti Bell Labs stretli s veľkým problémom s pittingmi (škvrnami) na povrchu kremíkových doštičiek počas vysokorýchlostnej difúzie. Tento problém vyriešil chemik Carl Frosch počas nečakanej nehody, pri ktorej vodík nesúci nečistoty cez difúziu pec sa na krátko vznietil a zaviedol vodnú paru do komory. Výsledná difúzna metóda „mokrého prostredia“ zakryla kremíkový povrch vrstvou sklovitého oxidu kremičitého (SiO_2).

Vylepšený ďalej Frosch a jeho technikom Lincolnom Derickom v nasledujúcich mesiacoch. A táto metóda umožnila polovodičovým pracovníkom utesniť a chrániť kremíkové plátky počas procesu difúzie. Obaja zistili, aké nečistoty, akými boli napr. gárium, mohli preniknúť do vrstvy oxidu a ktoré ostatné napr. fosfor a bór nemohli. Tiež demonštrovali ako vyleptať malé otvory vo vrstve, aby sa tieto nečistoty rozptýlili do vybraných častí povrchu kremíka a usadili sa presne s malými oblasťami N – typu a P – typu. V roku 1957 patentovali a uverejnili túto mimoriadne dôležitú techniku. Vrstva oxidu kremičitého sa čoskoro stala základom pre výrobu kremíkových tranzistorov a neskôršie aj integrovaných obvodov vo veľkom objeme výroby pomocou planárneho spôsobu spracovania, ktorý používa túto vrstvu na ochranu čistých PN prechodov v kremíku pred kontamináciou.

Rovnako sa zdvojnásobuje aj ako účinná izolačná vrstva, na ktorej sú uložené kovové prepojenia. Viac ako akýmkoľvek iný faktor, pružná, prispôsobivá vrstva oxidu kremíka ju dokázala ako ďaleko dominantný materiál používaný pri výrobe mikročipov v neskoršej dobe. Na obrázku je jeden z prvých kremíkových tranzistorov vyrobený planárnou technikou.



Jean Hoerni rozvinul planárny proces s riešením spoľahlivosti mesa tranzistora. Fyzik spoločnosti Fairchild Jean Hoerni si spomenul na myšlienku, ktorú zaznamenal v decembri 1957 ako nový proces, v ktorom je oxidová vrstva ponechaná na mieste kremíkového plátku na ochranu citlivých PN prechodov pod ním. Zameraním sa na získanie svojich prvých tranzistorov do výroby, spoločnosť v tom čase nevyužila tento postup. Vzhľadom na obavy týkajúce sa možných kontaktov s následnou kontamináciou vyžadoval odstránenie tejto vrstvy po dokončení maskovania oxidom, čím sa odhalili prechody. Hoerni považoval oxid za miesto riešenia a jeho „planárny postup“ pomenovaný podľa plochého dokončeného tranzistora, aby ochránil tieto prechody. Po napísaní patentového spisu v januári 1959 preukázal funkčný planárny tranzistor, ktorý sa

vyrobil v marci. Oxidová vrstva bola skutočne zistená, že chráni prechody, ako predpovedal Hoerni. Planárne tranzistory tiež dokázali, že majú lepšie elektrické vlastnosti najmä oveľa nižšie únikové prúdy, ktoré sú rozhodujúce v návrhu počítačovej logiky. Táto technológia sa použila i pri výrobe všetkých komponentov integrovaného obvodu z jednej strany obľátky. Spoločnosť Fairchild uviedla na trh v apríli 1960 planárny tranzistor 2N1613 a licencovala práva na výrobu planárnych tranzistorov. Jeden historik poznamenal, že planárna technológia bola najdôležitejšou inováciou v histórii výroby polovodičov. Hoci planárna technológia umožnila kremíkovým tranzistorom splniť prísne požiadavky leteckého priemyslu, výrobcovia polovodičov pokračovali v zlyhávaní pri zavádzaní nových technologických pokrokov do výroby. Výrazné problémy v 60. rokoch 20. storočia robil „purpurový mor“, ktorý sa viazal na zlaté prepojovacie drôty, elektromigrácia hliníkových prepojovacích vedení a stabilita MOS tranzistora.

Jean Amédée Hoerni (26. 9. 1924 – 12. 1. 1997) sa narodil v Ženeve vo Švajčiarsku. Prvý titul získal z matematiky a dva PhD. z fyziky. Prvý získal na univerzite v Ženeve a druhý na univerzite Cambridge. V roku 1952 sa presťahoval do USA a pracoval v Kalifornskom technologickom inštitúte, kde sa zoznámil s Williamom Shockley, fyzikom z Bell Labs, ktorý ho prijal, aby spolupracoval v novovzniknutej Shockley Semiconductor Laboratory v divízií Beckman Instruments v Mountain View v Kalifornii. Shockleyho podivné správanie prinútilo odísť



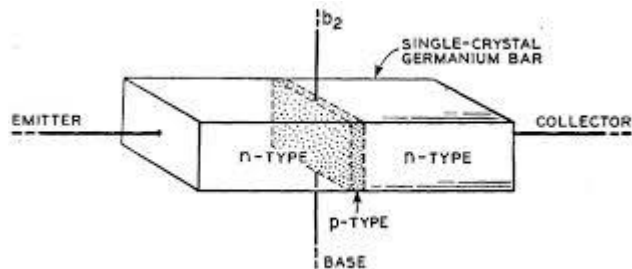
ôsmim spolupracovníkom medzi ktorých patrili ešte Julius Blank, Victor Grinich, Eugene Kleiner, Jay Last, Gordon Moore, Robert Noyce a Sheldon Roberts. Založili firmu Fairchild Semiconductor. Hoerni tu vynášiel rovinný proces pri výrobe kremíkových tranzistorov na základe tohto vynálezu potom vytvoril Robert Noyce prvý kremíkový integrovaný obvod v roku 1959. Neskôr spolu Jay Last a Sheldon Roberts založili v roku 1961 Amelco (dnešným Teledyne). V roku 1964 založil Union Carbide Electronics a v roku 1967 založil spoločnosť Intersil, kde sa stal priekopníkom nízkonapäťových CMOS integrovaných obvodov. Bol ženatý s Annou Marie Hoerni a spolu mali tri deti: Annie, Susan a Michael. Po rozvoze si vzal za manželku Ruth Carmonou, s ktorou sa tiež rozviedol. Získal Edward Longsteth medailu od Franklin Institute v roku 1969 a McDowel Award cenu v roku 1972. Bol horlivým horolezcom a často navštevoval Karakoramské hory v Pakistane a tu prispel na vybudovanie školy v Balti v obci Korphe. Zomrel na myelofibrózu 12. 1. 1997 v Seattli v štáte Washington vo veku 72 rokov.

Napriek vedúcej úlohe Bell Labs, Texas Instruments bol prvý na trhu s difúznym mesa výkonovým tranzistorom 2N389 v roku 1957, ktorý bol k dispozícii pre priemyselné použitie. Jeho kolektorový prúd bol 5 A s maximálnym pracovným napätím 60



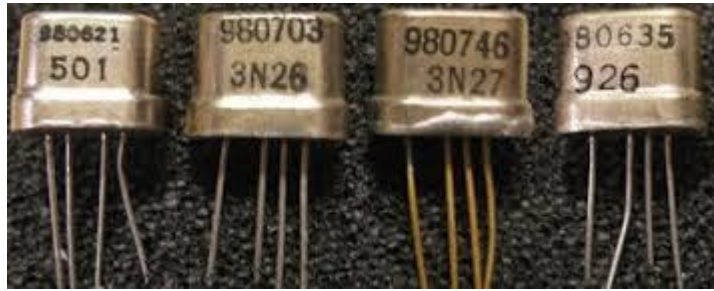
voltov a celkovým výkonom 80W. Za jeho vývoj bol zodpovedný Wilmer Wolf v spolupráci s Robertom Anderson a Boyd Corneloson. Wolf použil metódu vyvinutú Fullerom a Tanenbaum. Táto metóda sa využíva na to, že v kremíku je rýchlosť difúzie P – typu nečistôt až 100 krát rýchlejšia ako nečistoty N – typu. N – typ nečistôt mala nižšiu difúziu, ale väčšiu koncentráciu na povrchu a P – typ nečistota sa rýchlejšie rozptýlila, ale z menšou koncentráciou na povrchu. Wolf svoju prácu prezentoval v auguste 1957 na West Electric Show and Conversion v San Franciscu v dokumente nazvanom „dispersion Fifty – Watt Silicon Power Transistors“. Jeho opis procesu bol iba povrchný, ale súhrn jeho postupov a záznamov je uložený v knihe v laboratóriu v priebehu mája 1957.

Texas Instruments uviedla germániovú tetrodu, ktorú pôvodne v roku 1952 vynali v Bell Labs Bob Wallace, Schimpf a Dickten. Tieto vrstvé plošné tranzistory, kde štvrtina elektródy b_2 bola stanovená na základnej vrstve oproti bežnému kontaktu b_1 , a vzhľadom k tomu, negatívna polarizácia v prípade



tranzistora NPN. To vytvára predpätie v závernom smere vzhľadom k emitoru cez prechod báza – emitor obmedzuje prechod v oblasti v tesnej blízkosti b_1 , znižuje efektívny prierez tranzistora a znižuje vstupnú a výstupnú kapacitu a základnú odolnosť a tým prispieva k zvýšeniu pracovnej frekvencii. Na obrázku je funkčná schéma tetrody. Prvou vyvinutou tetrodou v TI bol typ 501 alebo s označením 3N25 okolo roku 1956 s pracovnou frekvenciou 200 MHz a maximálnou frekvenciou 250 MHz. Tieto produkty boli vyvinuté na základe zmluvy s US Signal Corps. Táto tetróda bola v tom čase jedinou konštrukciou, ktorá umožňovala uspokojivú prevádzku pri vyšších teplotách. V roku 1956 uviedla typ 924, pričom smerovalo úsilie k dosiahnutiu frekvencie 4,3, 12,5, 30 a 70 MHz. Podľa normy JEDEC má špecifikované puzdro To – 12 a v roku

1957 uviedla tetrodu 2N32 a typ 3N32, ktoré splnili svoje úlohy kladené na spoľahlivosť. Do výroby sa ešte dostali typy 3N34 a 3N35. Na obrázku je vidieť niektoré typy, ktoré boli vyrobené. Veľkosť puzdra je široké 12 mm, vysoké 10 mm a hrubé 5 mm.



Fotolitografické techniky pre použitie na výrobu kremíkových tranzistorov.

V roku 1955 začali Jules Andrus a Walter L. Bond v laboratóriu v Bell adaptovať existujúce fotolitografické techniky vyvinuté na vytvorenie vzorov na doskách s plošnými spojmi, aby vytvorili oveľa jemnejšie a zložitejšie vzory kremíku v plátkoch s použitím vrstvy Frosch a Derickovej vrstvy oxidu kremičitého. Po aplikácii fotosenzitívneho povlaku alebo odolnosti na vrstve a odhalenia požadovaného vzoru na tomto povlaku pomocou optickej masky boli vo vrstve definované presne ako okenné plochy a otvorili sa chemickým leptaním, kde sa odkryli neexponované otvory. Nečistoty boli rozptýlené cez tieto otvory do základného kremíka na vytvorenie zóny + N – typu a P – typu kremíka potrebných v polovodičových súčiastkach. V počiatočnom úsilí miniaturizovať elektrické obvody v roku 1957 Jay Lathrop a James Nall z americkej armády Diamond Ordnance Fuse Laboratories v Marylande patentovali fotolitografické techniky používané na uloženie tenkých kovových pásov okolo 200 μm na pripojenie diskretných tranzistorov na keramickom podklade. Tiež tieto techniky použili na vyleptanie otvorov v oxide kremičitom na výrobu diódových polí. V roku 1959 sa Lathrop pripojil k Texas Instruments, pracoval pre Jack Kilbyho a Nall odišiel do spoločnosti Fairchild Semiconductor. V na túto priekopnícku prácu Jay a Robert Noyce v roku 1958 vo Fairchild vytvorili jednu z prvých „step – and – repeat“, kameru na výrobu kremíkových tranzistorov identických na jednom plátku pomocou fotolitografie. V roku 1961 bola divízia spoločnosti David W. Mann z GCA Corporation prvou firmou, ktorá vyrábala komerčne zariadenia na opakované maskovanie (foto – zosilňovače).

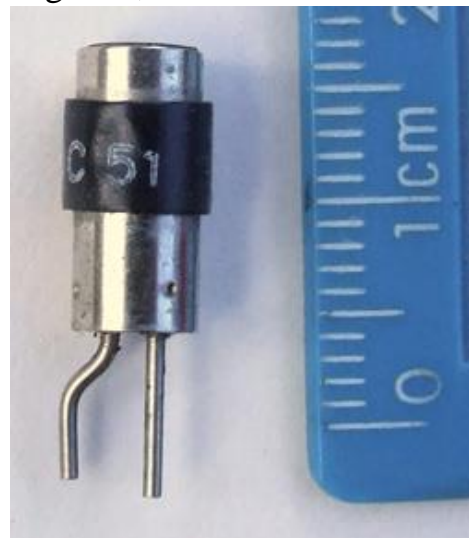
Silicon Controlled Rectifier (kremíkový riadený usmerňovač)

Prepínač PNP bol hlavným projektom v Bell Laboratories a viedol ho John Moll. Chceli solídnu náhradu za mechanické relé pre použitie v telefónnej komunikácii. Tento projekt začal v roku 1954 a bolo jasné, že na splnenie špecifikácií pre vysokú impedanciu zariadenia, by mal byť založený na kremíku a to predstavuje problémy, lebo technológia spracovania kremíka bola ešte v plienkach a na svet prišiel prvý kremíkový tranzistor v apríli 1954, ktorý ohlásila spoločnosť Texas Instruments.

V roku 1956 bola vytvorená a charakterizovaná podstata PNP prepínača. Práca bola zameraná na vytvorenie dvoch súčiastok tyristorov, ale to už je iná kapitola polovodičových súčiastok.

V 50. rokoch 20. storočia bolo vo svete už niekoľko výrobcov polovodičových súčiastok, medzi ktoré patril aj anglický výrobca Mullard Semiconductors, ktorý pôvodne vyrábala polovodičové súčiastky v Mitchame a centrálu mal v Londýne. Výroba polovodičov sa presunula do závodu Southampton v roku 1957. Výroba začala produkovať germániové diódy s označením OA a OAZ a germániové tranzistory s označením OC. Neskôr, keď začali vyrábať výrobky z kremíka, tak tie začali označovať ako diódy BA a tranzistory BC. Séria OC bola v Európe široko používaná počas takmer dvadsať rokov a Tungstam, Intermetal a Telefunken vyrábali vlastné typy OC. Prvé

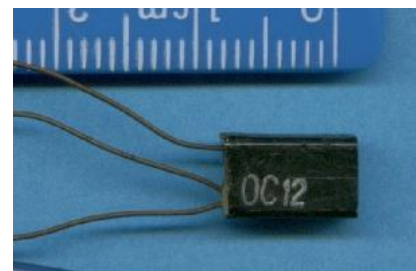
tranzistory vyrábané spoločnosťou v roku 1952 boli OC50 a OC51. Jednalo sa o hrotové germániové tranzistory. Boli to licencované Bell Labs model A. Je pravdepodobné, že sa tieto tranzistory ani komerčne neuviedli a boli ponúkané skôr na študovanie a vedecké účely. Prvé plošné tranzistory boli vyrobené spoločnosťou Mullard v roku 1953 pod označením OC10, OC11 a OC12. Jednalo sa o nízkonapäťové a nízkofrekvenčné germániové tranzistory s puzdrom z plastu, ktoré neboli



hermetické, a tak časom sa tam dostala vlhkosť, ktorá tranzistor zničila. Spoločnosť Mullard potom vyvinula unikátne puzdro zo skla a v roku 1954



vydala tri nové nízkofrekvenčné zliatinové tranzistory OC70, OC71 a OC72. Rovnako ako



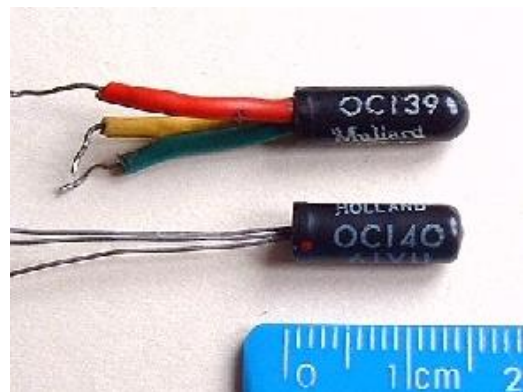
ostatný výrobcovia i Mullard vyrobil fototranzistor OCP71, komerčne dostupný od roku 1956. V tomto

roku vyrobila spoločnosť prvý komerčne dostupný výkonový germániový tranzistor OC16. Prototyp na obrázku vľavo dosahoval výkonovú stratu 24 W, ale komerčne uvedené tranzistory na obrázku vpravo mali iné skrutkové uchytenie. Výkonový germániový tranzistor OC19 bol už v predaji v puzdre TO – 3 v roku 1962. Prvé vysokofrekvenčné tranzistory vyrobené technikou drift boli s označením OC169 a OC170 a neskôr ich nahradili typy AF114 až AF118 od roku 1961, ktoré boli uložené v puzdre TO 7.



Mullard vyrobil menší počet spínacích tranzistorov na riadenie audio výstupu s dodatočným označením „D“ pod označením OC78D a OC81D. V roku 1959 začala spoločnosť vyrábať spínacie tranzistory pre počítače s označením OC41 a OC42 štruktúry a NPN germániové OC139 a OC 141 v sklenom puzdre SO – 2. Kremíkové tranzistory OC201 až OC207 štruktúry PNP zliatinový v puzdre SO – 2. Kremíkové tranzistory sa začali označovať písmenami BC a pre germánium písmenami AC. Spoločnosť Mullard bola dcérskou spoločnosťou Philips a preto označenie diód a tranzistorov sa zhodovalo s označením spoločnosti Philips, Valvo v Nemecku a vo Francúzsku.

Austrália tiež patrila medzi prvých, kto vyrábal polovodičové diódy a tranzistory. História výskumu tranzistora v Austrálii sa začala v roku 1953 v rámci pobočky „Radiofyziky CSIRO“, keď jej riaditeľ Dr. Bowen usporiadal v vtedajšom riaditeľom výskumu v Bell Labs, Jim Fisk, aby pomohol pri zriadení nového výskumného laboratória v Austrálii. Do USA odcestoval Dr. Louis Davies na požiadanie Dr. Bowena. V USA Davies získal kľúčové technológie pre výskum polovodičov ako sú: čistenie germánia a výroby monokryštálu. Davies bol zodpovedný za čistenie a výrobu tranzistorov so spolupracovníkom Brian Cooper, ktorý bol zodpovedný za testovanie tranzistorov, ktoré boli vyrobené a vývoj aplikácii pre tranzistory. Ich práca pritiahla pozornosť a urobili niekoľko prednášok a vydali ho knižne v knihe „The Transistor“ publikovanú v roku 1953. O tri roky neskôr v roku 1956 sa Dr. Neville Fletcher pripojil ku skupine po ukončení svojho doktorátu na Havarde. Fletcher poznal problematiku radiofyziky, pretože pracoval v Národnom laboratóriu ako doktorand. Časť jeho výskumu výkonových tranzistorov bola vykonaná v Transistor Products v roku 1954. Počas letnej dovolenky v roku 1954 vyvinul X – 78, jeden z prvých germániových výkonových tranzistorov, predávaných komerčne. V roku 1958 spoločnosť AWA (Amalgamated Wireless Australasia) zakúpila a založila závod na výrobu tranzistorov a už nepotrebovali centrálny výskum a CSIRO uzatvorila výskumnú skupinu. Fletcher získal miesto na univerzite v Novom Anglicku a neskôr sa vrátil do laboratória Bell a pridal sa k skupine Murray Hill, kde pracoval na spracovaní kremíka. Po návrate do Austrálie publikoval práce v Bell Labs a nastúpil do AWA a o dva roky sa stal hlavným fyzikom v laboratóriu spoločnosti AWA.



Spoločnosť STC začala vyrábať tranzistory v Austrálii v roku 1958 a ohlásené boli v článku „Tranzistorová produkcia v tejto krajine začala.“ Prototypové plošné tranzistory pod označením 3X/ 300N až 3X / 302N v roku 1956.

Tranzistory TS2 a TS3 vyrobené v Austrálii spoločnosťou STC boli uvedené v júni 1959. V Austrálii začala vyrábať tranzistory v roku 1959 aj spoločnosť Philips v továrni spoločnosti Hendon, SA. V ponuke mala germániové tranzistory, germániové diódy a kremíkové diódy.



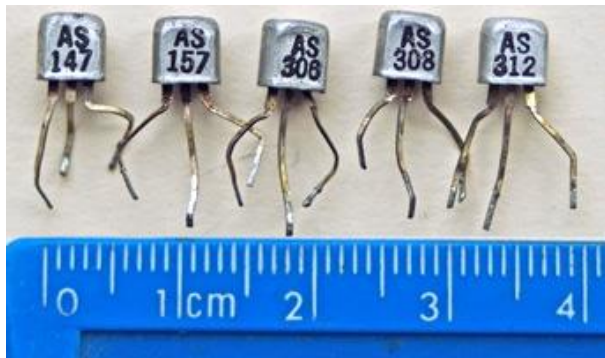
AF tranzistory	RF tranzistory	Germán diódy		Kremík diódy
OC16	OC44	OA5	OA85	OA200
OC65	OC45	OA70	OA91	OA201
OC66		OA73	OA95	OA202
OCP71		2OA79		
OC70		2OA72		
OC73		OA81		

Spoločnosť Ducon Industries Limited vyrábala kondenzátory, potenciometre a porcelánové elektro súčiastky. Tranzistory začala vyrábať v spoločnosti Villawood NWS (New South Wales) na základe licencie od francúzskej CSF a šlo o germániové tranzistory a potom na základe licencie spoločnosti Mallory na výrobu kremíkových diód. Diódy mali označenie SFD 108 a STF106 do frekvencie 50 MHz. Tranzistory SFT 151 nízko-frekvenčný, SFT152 so stredným výkonom, SFT 153 vysokorýchlostný spínač, SFT122 párovaný pre koncové stupne zosilňovačov, 1N2094 kremíková usmerňovacia dióda s prúdom do 750 mA a pracovným napätím 400 V. Germániové usmerňovacia dióda SFR105 s prúdom do 15A.

V júni 1964 časopis Radio Television and Hobbies oznámil, že v Melbourne vznikla nová spoločnosť na výrobu kremíkových tranzistorov a IO pod menom Fairchild Pty Ltd. Spoločnosť v roku 1966 uviedla na trh tri epoxidom zapuzdrené integrované obvody v puzdre TO – 5 pod označením FuL900, FuL914 a FuL 923. Nové kremíkové tranzistory PNP planárnej technológie s označením 2N3639 na obrázku je podobný tranzistor 2N1613.



Spoločnosť AWA spočiatku vyrábala tranzistory s pomocou RCA niekoľko typov rady 2N..., ale neskôr si vyvinuli vlastnú radu AS, väčšinou kremíkové planárne akými boli typy AS 147 alebo AS 306. Ďalším austrálskym výrobcom bol vo Victorii Anodeon Semiconductor Division, ktorý bol súčasťou spoločnosti Electric Industries Limited (EIL) v Melbourne, založenej v roku 1939. Pôvodne vyrábali tranzistory v spolupráci s RCA germániové PNP nízkočastotné 2N408 je jeden z rady.



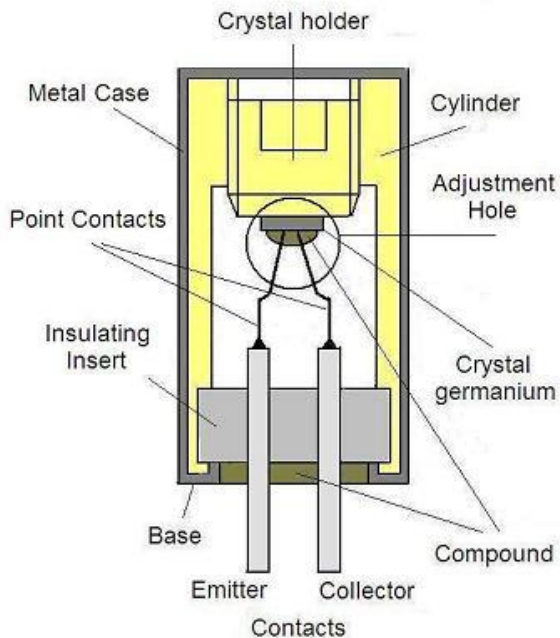
V Taliansku sa produkcia polovodičových súčiastok sústredila najmä v spoločnosti ATES (Electronica Technik South SpA) so sídlom v L'Aquila. Vznikla 12. 8. 1959 ako ELIT (Electronica Italiana SpA). Na začiatku 60. rokov sa spoločnosť RCA stala súčasťou, ktorá pomohla vybudovať závod v Catania na polovodičové súčiastky (diódy, tranzistory z germánia a kremíka) a pasívne súčiastky. Na obrázku je tranzistor PNP z germánia, ktoré sa určitý čas uvádzali pod týmto označením. Expanzia spoločnosti pokračovala i v 70. rokoch a 29. 12. 1972 bola podpísaná z rozhodnutia akcionárov fúzia so spoločnosťou General Semiconductors z Agrate Brianza v ATES, ktorá vystupovala pod menom SGS ATES



Componenti elettronica SpA. Ku koncu 70. rokov v dôsledku špatného vývoja na trhu priniesol ťažké regresívne stavy najmä v továrni Catania. V 80. rokoch nové vedenie urobilo revitalizáciu spoločnosti SGS a názov spoločnosti SGS – Microelettronica SpA v Catanii sa stala továrňou na výrobu integrovaných obvodov s podporou výskumu technológií a marketingu. V máji 1987 bola založená SGS – Thomson Microelectronics. Posledná zmena názvu spoločnosti sa udiala v roku 1998 a to na STMicroelectronics. SGS v katalógu z roku 1961 ponúkala germániové diódy rady 1G, kremíkové s označením 1SV120 až 1SV130. V roku 1962 boli v ponuke germániové tranzistory 2G108 až 2G1027. Z ponuky SGS – ATES pochádzajú aj výkonové usmerňovacie germániové diódy AY105K v puzdre TO – 1A s chladičom z hliníka.

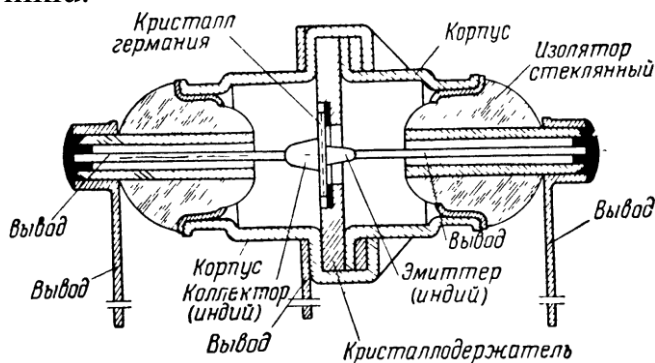


V Sovietskom zväze bol prvý experimentálny tranzistor vytvorený vo vedeckom ústave SRI – 160 v decembri 1948 pod vedením A. V. Krasilova a bol aj publikovaný v článku pod názvom „Kryštál trióda“. Alexander Viktorievič Krasilov je považovaný za patriarchu domácej polovodičovej elektroniky. Pod jeho vedením sa vyvinulo a zaviedlo do výroby niekoľko sérií

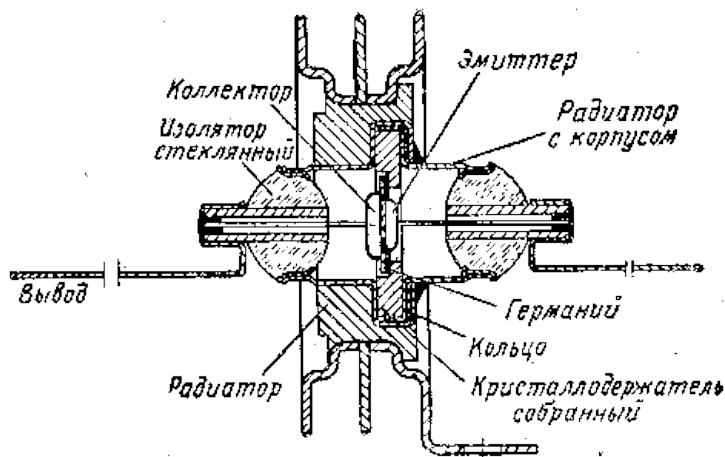


mikrovlnných kremíkových detektorov, ktoré našli uplatnenie v radarovej technike, rozhlase a v meracej technike. Na obrázku je vidieť schému tranzistora Ц1, a bez vonkajšieho krytu. V roku 1950 sa začali denne vyrábať desiatky

tranzistorov typu Ц1 až Ц4. Boli to hrotové germániové PNP tranzistory s veľkosťou puzdra 12 x 6,5 mm s hmotnosťou 2 gramy. Vzhľadom na rozmer tranzistora je ich hmotnosť dosť veľká. Tranzistor obsahuje pod vonkajším plášťom mosadzný valec, na ktorom sú dva otvory o priemere 2,5 mm a vo vnútri je germániový kryštál. Vonkajší plášť je vyrobený zo zliatiny podobnej niklu.

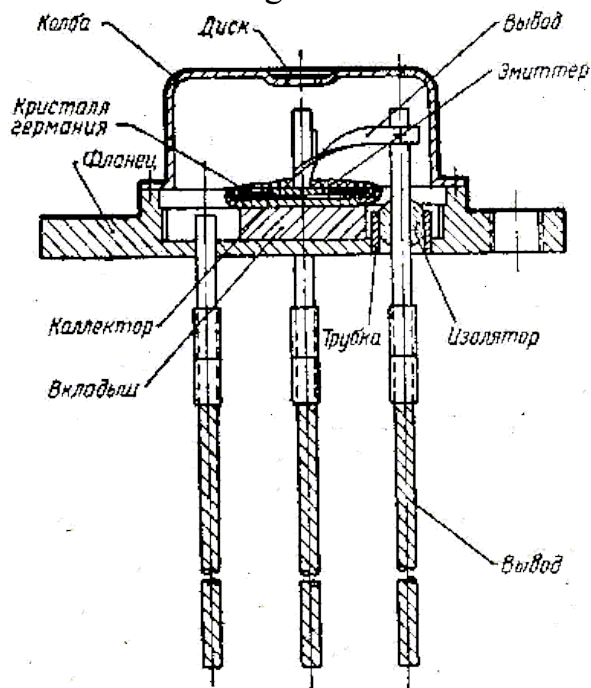


Prvé plošné germániové tranzistory PNP sa začali vyrábať v roku 1955 pod označením П1 a П2 s veľkosťou 19 x 9 mm s hmotnosťou 2,5 gramu. Na obrázkoch je vidieť schému a hotový výrobok tranzistora П1. Prúdové zaťaženie bolo 5 mA s napätím 20 voltov so ziskom 30 dB a s frekvenciou 100 kHz. Tranzistor П3 bol prvým sovietskym germániovým



PNP výkonovým tranzistorom s prúdom 150 mA a napätím 25 voltov so ziskom 17 dB.

Na obrázkoch je schéma a hotový tranzistor П3, ktorý má rozmery 24 x 27 mm a hmotnosť 8 gramov. V roku 1953 na základe vlastností polovodičov sa na НИИ – 35 začali experimentálne vyrábať plošné tranzistory s pracovnou frekvenciou 1 až 1,5 MHz. Skutočným výkonovým germániovým tranzistorom vyrobený planárnou technológiou typu PNP bol П4БЭ vyrobený v roku 1957 s výkonom 10 W o veľkosti 30 x 9 mm a hmotnosťou 14 gramov.



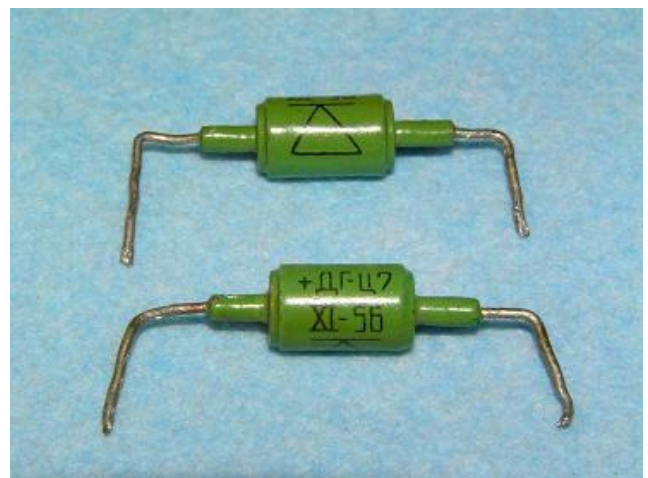
F. A. Shchigolev skonštruoval zo zliatiny kremíka typu tranzistorov П501 až П503. V roku 1957 v ZSSR už vyrobili 2,7 milióna tranzistorov, použité na nastupujúcej raketovej, kozmickej, počítačovej technike a ostatných elektronických zariadeniach. V ZSSR sa začali vyrábať germániové difúzne PNP tranzistory typu П411А v roku 1959 s frekvenciou 200 ž 400 MHz. Boli to prvé vysokofrekvenčné germániové tranzistory vyrobené touto technológiou.

Prvý kremíkový tranzistor NPN zo začiatku 60. rokov sa vyrábal pod označením П309 o veľkosti 11 x 10 mm a sériovo sa začali vyrábať v rokoch 1964 až 1965.



Na obrázku je germániový tranzistor PNP 2SB257 a v čiernom puzdre je NPN prvý kremíkový tranzistor s označením П309. Tranzistor 2SB240 z tejto rady má h_{21e} 39 až 90, frekvenciu 500 kHz, kolektorový prúd 200 mA, zisk 40 dB, napätie kolektor – emitor 30 voltov, max. kolektorový prúd 1 A, napätie kolektor – báza 40 voltov a napätie emitor – báza 15 voltov. Tranzistor pracuje v teplotách – 85 do + 100 °C.

Germániové diódy boli označované ДГ – Ц7 a neskôr planárne pod označením ДГ – Ц21 až ДГ- Ц27, ktoré sa vyrábali v 50. rokoch.



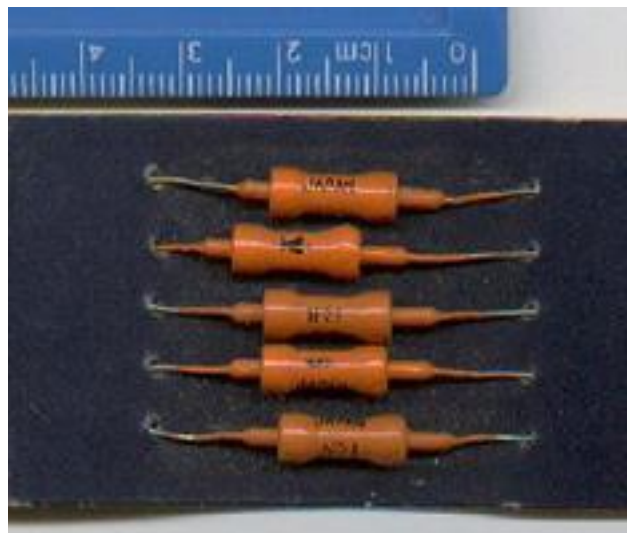
Na obrázku je vidieť oba typy germániových diód. Vpravo je dióda ДГ-Ц7.

Dióda ДГ – Ц26 je usmerňovacia germániová dióda s napätím 350 V a 0,3 A.

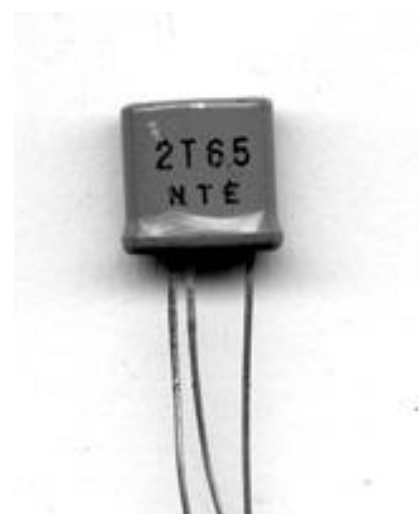
Tranzistory П 207А a П 208 sú výkonové germániové tranzistory s prúdovým zaťažením na kolektore 25 А a pri dobrom chladení je schopný dodávať výkon až 100 W. Veľkosť tranzistora dosahuje takmer 10 cm a vyvinuli ich vo vedeckom ústave 35 Pulsar v Moskve a tu ich aj vyrábali v rokoch 1959 až 1961.



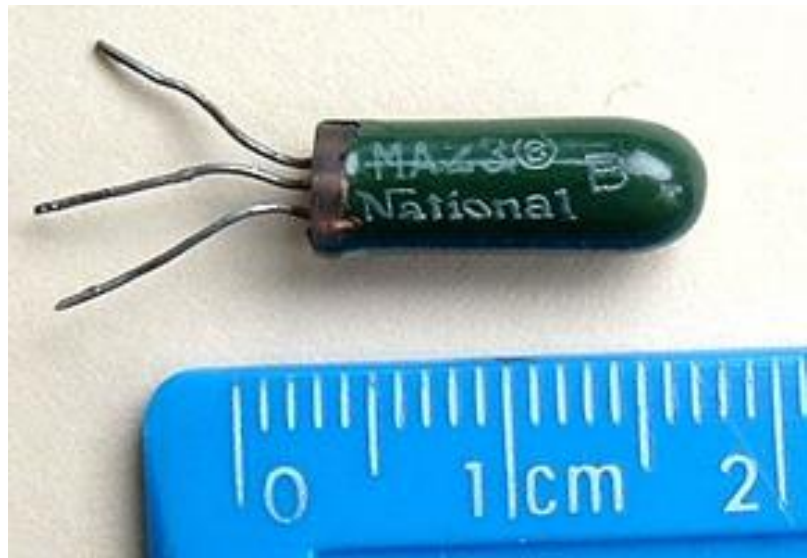
V Japonsku sa začali vyrábať diódy a tranzistory v 50. rokoch 20. storočia a do ich výroby bolo zapojených viacero firiem ako: Sony, Sanyo, Toshiba, Hitachi, Matsushita, Fujitsu, NEC a TEN. Podobne ako v USA sa aj v Japonsku výrobcovia polovodičových súčiastok dohodli na jednotnom označovaní podľa normy EIAJ a štandardných puzdier. Prvé japonské tranzistory boli germániové typu PNP a ich výroba začala v roku 1954. Kremíkové tranzistory začala spoločnosť Sony vyrábať až v roku 1958.



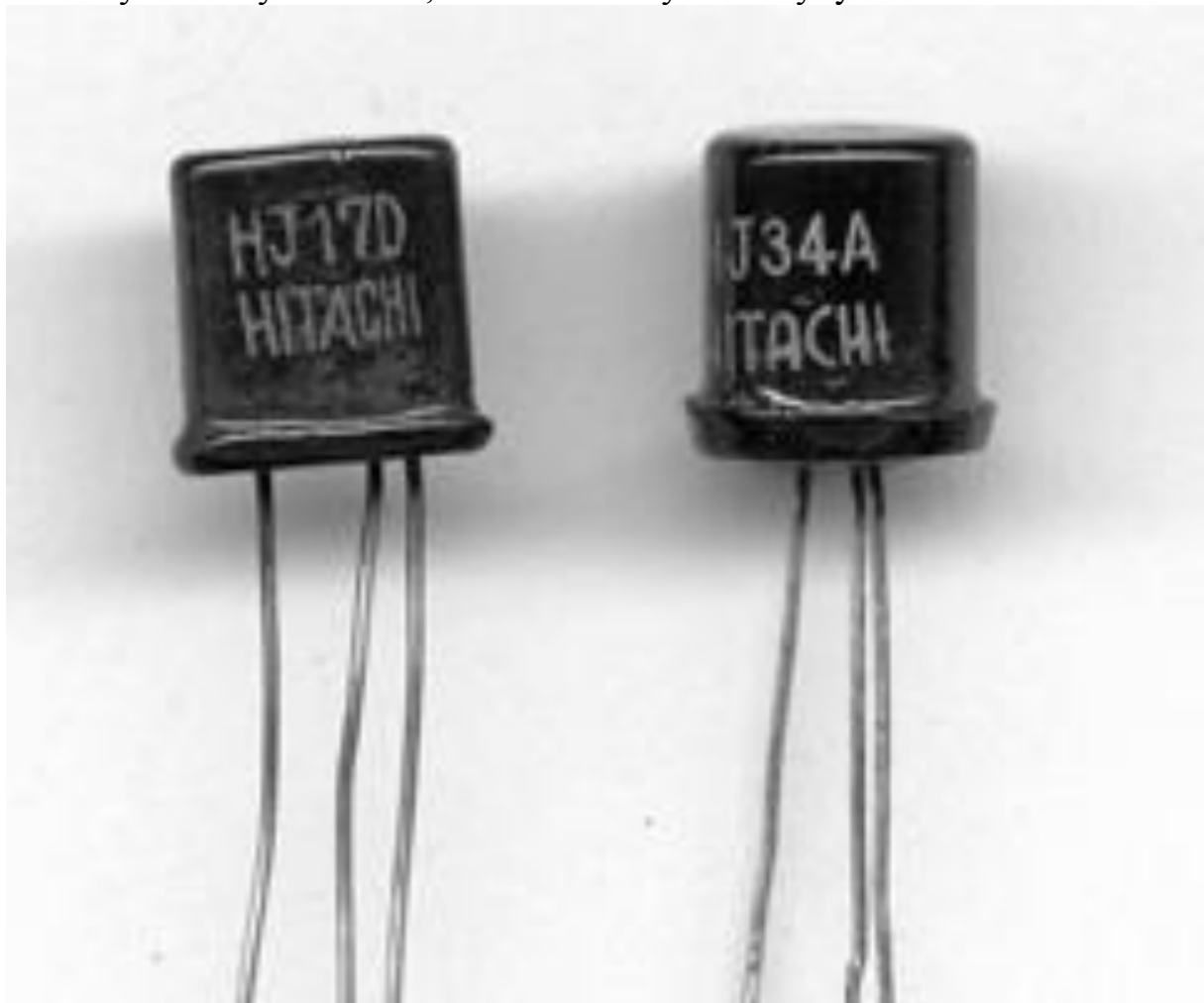
Na obrázku je súbor piatich diód 1F21 z germánia a majú podobnú charakteristiku ako dióda 1T21 od spoločnosti Sony, ktorá vydala i tranzistory 2T11 až 2T14 a 2T22 a 2T23, 2T61 a 2T62, 2T201 až 2T203 a diódy 1T21 až 1T26. Na obrázku je germániový tranzistor od spoločnosti Sony 2T65. Spoločnosť Hitachi uviedla na trh niekoľko typov tranzistorov a medzi nimi patrili i HJ17D a HJ34A.



Ďalším polovodičovým výrobcom z 50. rokov je spoločnosť Matsushita, ktorá používala na súčiastky aj meno National. Medzi výrobkami boli tranzistory MA23 National v puzdre SO – 2 a OC45C National. Podľa EIAJ bola špecifikácia podľa označenia nasledovná:



2SA boli vysokofrekvenčné PNP tranzistory, 2SB boli germániové nízkofrekvenčné PNP tranzistory, 2SC vysokofrekvenčné germániové NPN tranzistory, 2SD nízkofrekvenčné germániové NPN tranzistory, 2SE P – gate tyristor, 2SF N – base prechodový, 2Sj P – kanál efektový tranzistor, 2SK n – kanálový efektový tranzistor, 2SM bi reakčný triódový tyristor.

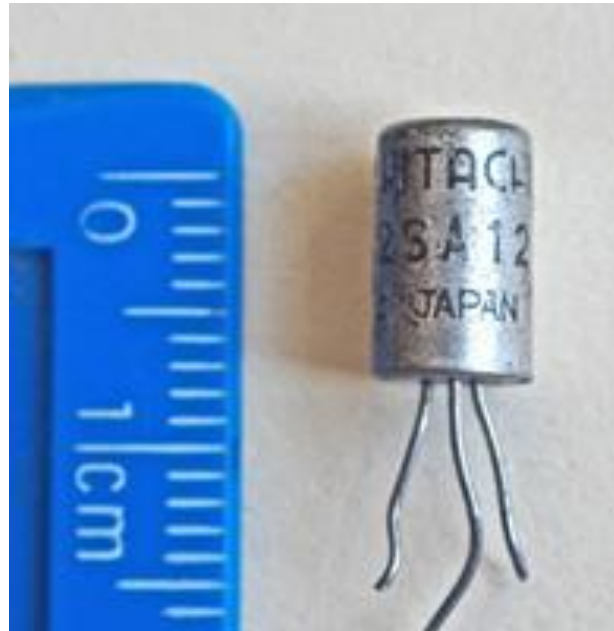


Na obrázku sú spomenuté tranzistory HJ17D a HJ34A z 50. rokov.

Niektoré z týchto tranzistorov sú dosť nejasné, ale 2SA až 2SD boli najčastejšie používané. Väčšina z nich je pre malé zaťaženie v kovovom puzdre TO – 1 ako napríklad Hitachi 2SA12. Používalo sa i označenie bez 2S, ako napríklad označenie A234, ktoré v skutočnosti je 2SA234.

Ďalším tranzistorom od Toshiba je 2S56, ktorý bol vydaný ešte pred zjednotením označenia EIAJ.

Výkonový germániový tranzistor PNP 2SB205 má dĺžku 5 cm a je pritom dosť ťažký, ktorý vyrábala spoločnosť Shindengen. Na obrázku je vidieť jeho veľkosť s porovnaním klasického



tranzistora v puzdre TO – 3. Tranzistor 2T5 bol vytvorený pre vysokofrekvenčné zariadenia a typ 2T7 mal byť jeho kvalitnejší nástupca. Problém pri hromadnej výrobe tranzistora 2T7 sa vyskytol počas spojovania olovnatého drôtu so základňou tranzistora. Tranzistory vykazovali uspokojivé charakteristiky s dopingom fosforu po ťahaní a rezaní, ale náhle prestali fungovať v okamihu, keď bol olovnatý drôt pripojený na základňu. Zisk klesol na menej ako 10 %.

Nakoniec sa rozhodlo, že sa vrátia k typu 2T5 i napriek slabším hodnotám. Bol vytvorený



špeciálny tím, ktorý pokračoval v skúmaní príčin defektu v tranzistore 2T7.

Zistili, že doping základne s nadmerne vysokými hodnotami fosforu asi ničí prechod PN počas procesu prepojenia. Leon Esaki dostal do oddelenia výskumu mladého študenta Suzuki na prax v spoločnosti Sony. Asi po mesiaci si Suzuki všimol zvláštny jav vo vysoko dotovaných fosforových kryštáloch. Všeobecne platí o prechode PN, že keď je napätie pripojené na PN diódu, prúd má tendenciu prúdiť v priepustnom smere, bez možnosti prietoku v opačnom smere. Pri vykreslení týchto výsledkov do grafu však Suzuki zistil, že reverzné toky vykazujú väčšie prúdy a krivka s nezvyčajným vrcholom sa objavila v predpätí. Tento jav oznámil Esaki, ktorý si tiež spočiatku myslel, že je to omyl. Po niekoľkých testoch a kontrolách si konečne uvedomil, že to nie je omyl ani žiadna chyba. Po tomto zistení, že defekty 2T7 môžu byť odstránené znížením koncentrácie fosforu pod určitú úroveň. Po tomto zistení spoločnosť Sony začala produkovať vysoko kvalitné tranzistory typu 2T7.

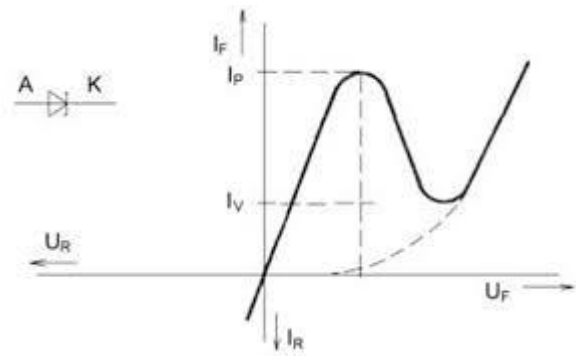
Ďalšou úlohou Esaki bolo určiť príčinu negatívnej rezistencie. Esaki predpokladá, že tento jav môže byť efekt tunelovania tzv. „Tunelový efekt“. Esaki si prvý uvedomil význam tohto efektu. Po uskutočnení mnohých experimentov, tím Esaki konečne dokázal vyrobiť nový typ diódy s negatívnou rezistenciou, „Tunelovú diódu alebo Esaki diódu“, pri ktorej sa znižuje prúd, keď sa zvyšuje napätie. Na jeseň 1957 Esaki a jeho spolupracovníci oznámili tento objav.



Na obrázku je Esaki v laboratóriu spoločnosti Sony z roku 1957.

V nasledujúcom roku boli tieto zistenia publikované v časopise American Physics. Hoci bol tento objav celosvetovo uznaný, reakcia na tento objav bol v Japonsku takmer bez odozvy.

Vedci mimo Japonska rozpoznali význam Esaki diódy. V júni 1958 bol Esaki s ďalšími dvoma japonskými vedcami na medzinárodnej konferencii o fyzike pevných látok v Bruseli. Na obrázku je charakteristika tunelovej diódy. Tu jeho prácu a význam ohodnotil kladne Dr. William Shockley. Esaki dióda mohla byť použitá pri vysokofrekvenčných oscilátoroch v zosilňovacích a spínacích zariadeniach. Získala si ešte väčšiu pozornosť a popularitu pre svoju schopnosť zrýchliť prevádzkovú rýchlosť elektronických počítačov o čom snivali mnohí vedci. Pritom bolo prekvapením, že Sony nebola veľkou spoločnosťou bez výskumných laboratórií financovaných vládou. Na obrázku je tunelová dióda 1N3716 s prúdovým zaťažením 25 mA a v puzdre DO – 17.



Produkcia tranzistorov vo Francúzsku bola zabezpečená najmä štyrmi najväčšími výrobcami polovodičov súčiastok: Compagnie Générale de télégraphie Sans Fil (CSF), Société Francaise Radio Electrique (SFR), Laboratoire Central de telekomunikatione (LCT) a Compagnie Francaise Thomson – Houston (CFTH). Najdôležitejším výrobcom bola spoločnosť CSF založená Emile Girardeau po I. sv. vojne. Spočiatku malá firma investovala do základného výskumu a stala sa jednou z mála firiem, ktoré mali priemyselné výskumné laboratórium vo Francúzsku, ktorému šéfoval Maurice Ponte a do roku 1950 vzrástol počet zamestnancov na 9000 z toho 750 bolo vo výskume. V roku 1952 Ponte rozhodol zriadiť laboratórium na výskum a spracovanie polovodičov a do čela bol menovaný Claude Dugas, ktorý bol čerstvým držiteľom doktorátu. V roku 1953 bola nainštalovaná linka na výrobu hrotových diód a tranzistorov z germánia. CSF nepožiadala o licenciu ani Bell Labs ani žiadnu dohodu s RCA na rozdiel od mnohých iných výrobcov akými boli Philips, Siemens & Halske, Telefunken, BTH, Pye a GEC. CSF urobil základný plátok o veľkosti 3 x 3 mm a hrubý 0,3 mm a potom sa použilo chemické leptanie na zmenšenie hrúbky na 0,15 až 0,18 mm. Kolektor a emitor boli vyrobené v dvoch prechodoch v legujúcej peci pri teplote 550 °C. Variabilita v akejkoľvek fáze ale viedla k nekontrolovateľnej šírke základne tranzistora a nedostatočnej konzistencii charakteristík tranzistora. Ešte aj v roku 1954 sa CSF borila s problémami kontroly. Bolo zistené, že ich zliatinová pec nedokáže

udržať konzistentné teploty, čo má za následok nepríjemnú variabilitu i v jednej rade tranzistorov. Nové laboratórium malo za cieľ vyrobiť linku s kapacitou 30 000 tranzistorov od roku 1955. Výroba bola problematická. Polovodičový materiál germánium bol veľmi citlivý na akékoľvek zmeny. Metóda bola založená na veľmi striktnnej spätnej väzbe pre nastavenie jednotlivých parametrov, akými je teplota pece alebo stupeň dotovania na seba menšie odchýlky vlastností. Prvé tranzistory vyrábané v Puteax boli typu TJN1 a TJN2. Rovnako ako väčšina výrobcov z tohto obdobia boli sady tranzistorov vyrobené na použitie v nízkofrekvenčných zosilňovačoch so ziskom 40 až 60 dB pri type TJN2 a tranzistor TJN1 má zisk 10 až 40 dB. Boli natreté bielou farbou a niesli logo CSF typu NPN. Spoločnosť Laboratoire Central de Telecommunication (LCT) v roku 1953 licenčne vyrábala dva hrotové tranzistory pod označením 3698, ktoré boli spínacie a 3768 určené na všeobecné použitie a boli podobné tranzistorom, ktoré vyrábali vo Western Electric.

Thomson – Houston Electric Company mala dcérsku spoločnosť vo Francúzsku pod menom Compagnie Francaise Thomson – Houston (CFTH) a je druhou najväčšou firmou vo Francúzsku, ale s výskumom polovodičov začali až v roku 1956 s pomocou General Electric Co. V roku 1953 zodpovedal za výrobu germánia v sekcii „Radar“ M. Mercier a v tom čase v CFTH vyrábali štyri kremíkové hrotové diódy typu 8023B a 8021B, čo zodpovedalo typom od amerického výrobcu 1N23B a 1N21B.

Prvé plošné tranzistory sa začali vo Francúzsku vyrábať v spoločnosti CSF, LTC a Radiotechnique v roku 1955, ktoré boli vystavené v Salon National de la Piece Détachée v Paríži 11. marca 1955 a boli uvoľnené aj pre obchod. Radiotechnique predstavila nízkonapäťové, nízkofrekvenčné tranzistory OC70 a OC71 s nižším výkonom a pre stredný výkon OC72 a výkonový OC15. V septembri 1955 Toute la Radio zverejnila produkované tranzistory.

typ	použitie	výrobca	Pc max. mW	Zisk v dB
TJN1	PNP audio	CSF	50	10 - 40
TJN2	PNP audio	CSF	50	40 - 60
OC70	PNP audio	Radiotechniq	25	25 - 35
OC71	PNP audio	-/-	25	45 - 55
OC15	PNP zosilňov	-/-	2 W	
OC72	PNP audio	-/-	50	40 - 50
3604	NPN audio	LCT	50	20 - 35

Prvé vysokofrekvenčné tranzistory nasledovali potom, čo začal byť väčší dopyt po tranzistoroch, ktoré by sa uplatnili v prenosných rádioprijímačoch. Prvé vysokofrekvenčné tranzistory boli predstavené v roku 1956 na výstave pod označením OC45 germániový PNP od firmy Radiotechnique a LCT 3609 germániový NPN. V rovnakom čase uviedla firma Philips OC45 v Amsterdame a Valvo na jeseň 1956 v Nemecku, ktoré pracovali do frekvencie 3 MHz. NPN tranzistory 3609 pracoval do frekvencie 1,8 MHz. Prvým francúzskym tranzistorovým rádioprijímačom bol Transivox, uvedený v októbri 1956, ktorý mal osem tranzistorov z toho štyri vysokofrekvenčné a v nízkofrekvenčnej časti boli použité dva OC71 a dva OC72 v zapojení B v koncovom stupni.

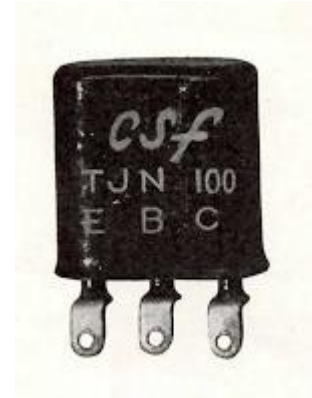
Tranzistorový prijímač Solistor Transistor 8 bol popísaný v decembri 1956, ktorý vyrábala dcérska spoločnosť CSF s príjmom na dve pásma: DV 150 až 360 kHz a SV 525 až 1600 kHz. Tranzistor obsahoval tranzistory od spoločnosti General Electric 2N135, 2N137 typu PNP s frekvenciou 4,5, 6 a 10 MHz. V roku 1957 29. marca oznámil CSF vysokofrekvenčné tranzistory pod označením TJN7 germániové typu PNP, TJN6 germániový typu PNP. Firma Radiotechnique uviedla vysokofrekvenčný tranzistor typu PNP pod označením OC44. Do výroby nastúpila nová technológia drift tranzistorov od spoločnosti Philips a RCA a začala sa presadzovať difúzia kremíka.

V roku 1959 bolo na trhu už mnoho tranzistorových prijímačov, ale nový Clarville PP429 má osobitý význam, pretože bol uvedený vo veľmi podobnom dizajne ako pôvodný Solistor 8, ale so šiestimi tranzistormi a dvomi diódami. Oscilátor a zmiešavač bol osadený tranzistorom SFT 108, prvý medzifrekvenčný stupeň SFT 107, druhý medzifrekvenčný stupeň SFT 107, detektor bol osadený diódou SFD 110, AVC bol osadený diódou AFD 103, prvý nízkofrekvenčný zosilňovač SFT 103 a koncový stupeň v zapojení B 2x SFT 122. Jednalo sa o bežné zapojenie prijímača v tej dobe s medzifrekvenciou 480 kHz pre príjem DV a SV na príjem KV ešte neboli vyrobené vhodné tranzistory.

Výkonové tranzistory boli potrebné pre audio zosilňovače, interiéroch a v nabíjačkách akumulátorov. Podľa ich rozvoja boli prvými výkonovými tranzistormi od francúzskych výrobcov: Radiotechnique OC15, CSF TJN 100 a CFTN vyrobila model TH8501. Tranzistor OC15 bol navrhnutý v spoločnosti Valvo a uvedený bol v Nemecku v októbri 1954, ale je to rovnako dcérska spoločnosť Philips rovnako ako Radiotechnique. Prvá verzia bola označená ako OC100 s výkonom 3 W v triede A. Napriek zdanlivej krehkosti mali tranzistory slušný tepelný odvod a začalo ich vyrábať niekoľko výrobcov.



Tranzistor mal komplikovanú konštrukciu, tri vrstvy oceľového plášťa, tri sklenené izolátory, väčšiu zaizolovanú dolnú časť s pripojením na chladič. Tranzistor mal zložitejšiu izoláciu, lebo konektor nebol pripojený na puzdro ako tomu bolo neskoršie u modelu OC16. Radiotechnique inzeroval OC15 ako prototyp typu N v septembri 1955 a bol to jediný výkonový tranzistor v katalógu z tohto roka. Trvalo však takmer rok, kým sa dostal do predaja začiatkom júna 1956. Ďalší výkonový tranzistor CSF TJN 100 bol avizovaný v roku 1955, ale inzerovaný bol až marci 1956 v Salon de la Détachée, pre použitie v PA systémoch, meničoch a na diaľkové ovládanie. Nový výkonový tranzistor disponoval s výkonom 2 W s trvalým zaťažením 0,75 W s prúdovým zaťažením max. 1,5 A a s napätím 28 voltov. V zapojení v triede B dosahoval maximálny výkon 3 W. V roku 1956 bol ohlásený nový výkonový tranzistor s výkonom až 10 W. V tom čase Toute la Radio napísalo: „Dúfame, že to môže byť čoskoro komerčne dostupné.“



V roku 1957 boli i v Salon oznámené nové tranzistory CSF model TJN 30 a TJN 300, ale oba typy boli nahradené do roka novým označením SFT 113 a SFT 114. OC15, ktorý bol zložitý pre výrobu a zastaranej konštrukcie v dôsledku jeho spôsobu pripojenia konektora, bol nahradený modelom OC16, ktorý bol ohlásený v júni 1957. CFTH údajne mali v programe niekoľko typov tranzistorov s výkonom 2,5 W pre nízkofrekvenčné zosilňovače ale v predaji neboli. V období rokov 1957 až 1958 bola technológia plošných tranzistorov vylepšená a uvoľnená u všetkých výrobcov. Výskum bol presmerovaný na polovodiče kremíka. V CFTH a čoskoro aj CSF boli postavené nové zariadenia v Saint Egrevé pri Grenobli. V roku 1955 mal CFTH kontrakt na vývoj metódy ťahania kremíkových kryštálov a vývoj zariadenia na jeho vysoký bod tavenia 1415 °C a jeho vysokú čistotu. V CFTH sa im podarilo vytvoriť jeden kremíkový kryštál v dĺžke asi 10 cm, čo bol veľký úspech na túto dobu. Z kremíka boli vyrobené plošné diódy, ktorej vlastnosti sú: reverzné napätie 600 voltov a prúdové zaťaženie 0,5 A. Spočiatku sa vyrábali kremíkové usmerňovače malých a stredných výkonov. Na obrázku je výkonový tranzistor SFT114. V roku 1957 pred veľkou nocou bolo uvedených päť kremíkových tranzistorov. V roku 1958 CFTH dodala na komerčné účely dva kremíkové tranzistory THP 35 a THP 36.



model	typ	Pc max	Vce	frekvencia
THP 35	NPN	50 mW	30 V	3 MHz
THP 36	NPN	50 mW	30 V	5 MHz

Pri výrobe tranzistorov v Saint Egreve boli tranzistory vyrobené podľa štandardnej metódy z germánia a bolo potrebné veľa žien s mikroskopmi, ktoré vykonávali jemné práce pri zostavovaní tranzistorov. V novembri 1958 vydalo Toute la Radio rozsiahly článok o všetkých tranzistoroch, ktoré sa vyrábali vo Francúzsku. V tabuľke sú tranzistory PNP vysokofrekvenčné

SFT 106	medzifrek	3 MHz	30 dB	- 6V	1 mA
SFT 107	-/-	6 MHz	50 dB	-6V	1 mA
SFT 108	oscilátor	10 MHz	80 dB	-6V	1 mA

Tranzistory NPN vysokofrekvenčné

Model	použitie	frekvencia	zisk	Pc max	Vcb max
TJP 21	IF	2 MHz	75 dB	120 mW	30 V
TJP 22	IF	2 MHz	150 dB	120 mW	30 V
TJP 41	IF	4 MHz	75 dB	120 mW	30 V
TJP 42	IF	4 MHz	150 dB	120 mW	30 V
TJP 62	oscilátor	Nad 4 MHz	150 dB	120 mW	30 V
TJP 63	oscilátor	5 MHz	250 dB	120 mW	30 V

Nízkofrekvenčné PNP malého výkonu

model	zisk	Pc max	Vcb	Veb	Ic
SFT 101	30 dB	100 mW	-25V	-12V	10 mA
SFT 102	50 dB	100 mW	-25 V	-12 V	10 mA
SFT 103	80 dB	100 mW	-25 V	-12 V	10 mA
SFT 104	Trieda B	100 mW	-25 V	-12 V	100 mA

Nízkofrekvenčné PNP výkonové z Puteaux

model	Pc max	Vce max	IC max	zisk
SFT 113	4 W	30 V	5 A	16 dB
SFT 114	4 W	30 V	5 A	16 dB

CFTH mal v zozname v roku 1958 uverejnenom Toute la Radio okrem germániových tranzistorov aj kremíkové vysokofrekvenčné tranzistory a výkonové.

Model	Pc max	Vc max	Ic max	zisk
THP 50	5 W	15 V	2,5 A	40 dB
THP 51	5 W	30 V	2,5 A	40 dB
THP 52	5 W	60 V	2,5 A	40 dB
THP 45	12 W	15 V		>20 dB
THP 46	12 W	30 V		>20 dB
THP 47	12 W	60 V		>20 dB

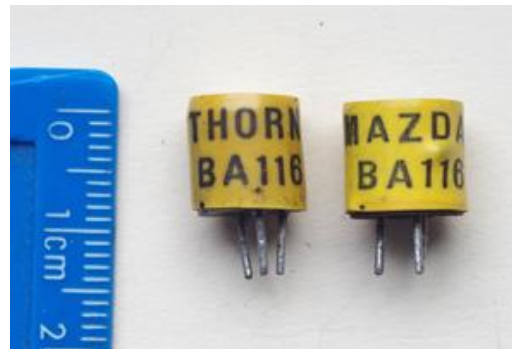
Radiotechnique v roku 1958 nemal veľa dostupných tranzistorov pre komerčné použitie, ale od roku 1957 vyrábala sériu OC 139 až OC 141. Jednalo sa o zliatinové germániové NPN tranzistory pre použitie vo vysokofrekvenčných obvodoch a spínacích obvodoch. Niektoré germániové tranzistory ako OC71, OC72, OC44 a OC45 sa vyrábali do roku 1960.

Francúzsko bolo príliš zamerané na tranzistory z germánia. CNET nepodporoval rozvoj kremíkovej technológie s dostatočným predstihom v mylnej predstave, že germánium bol dostatočný pre blízku budúcnosť. Dokonca aj vo svojich najvyspelejších aplikáciách nepoužil diskkrétne súčiastky z kremíka a integrovaných obvodov. Vo Francúzsku sa začal výskum integrovaných polovodičových súčiastok v roku 1960. General Electric a CFTH vytvorili Société Européenne des Semi – Conducteurs (SESC) v roku 1960. SESC začala vyrábať integrované obvody spojením diskrétnych kremíkových komponentov do puzdra TO – 5 v roku 1964.

Prvá sériová výroba integrovaných obvodov sa vo Francúzsku začala vyrábať vo firme Sovcor v roku 1967 a od tej doby sa päť amerických spoločností usídlilo vo Francúzsku a boli to: Texas Instruments, Fairchild, ITT, Motorola a Transitron. Na základe toho sa Thomson spojil s CSF a táto spoločnosť bola podporovaná veľkými štátnymi zákazkami v rokoch 1969 až 1973, ale i tak bola spoločnosť v roku 1972 v rebríčku výroby polovodičov v celosvetovom meradle v prvej desiatke. Od roku 1960 bolo Japonsko väčším producentom tranzistorov ako USA, ale v USA nahradil germánium kremík v diskrétnych súčiastkach i v integrovaných obvodoch.

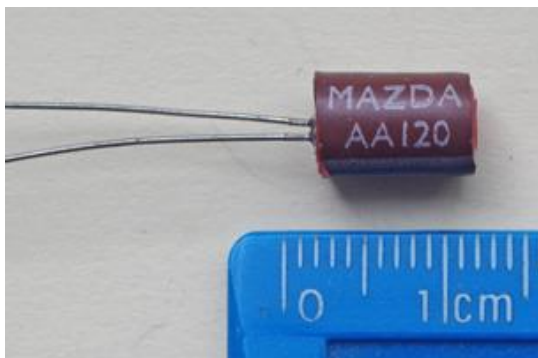
Spoločnosť Thorn – AEI (Mazda) Radio Vales and Tubes Ltd., ktorá bola asi pokračovateľkou spoločnosti Edison Swan Electric Co. Ltd. Vyrábala germániové diódy a tranzistory označované najmä „Mazda“. Nájdú sa tiež aj označenia „Thorn“ a zriedkavo i názov „Brimar“.

Spoločnosť Thorn – AEI vyrábala polovodiče na začiatku 60. rokov, ale pohybovala sa v oblasti výroby germániových tranzistorov s výnimkou niektorých kremíkových diód. V roku 1966 vydala spoločnosť malú brožúru pod názvom „Mazda Semiconductors DATA Booklet 1966“, v ktorej uvádza niekoľko diód a tranzistorov: AA 120 germániová plošná dióda, AC 113, AC 114 a AC 115 germániové prechodové tranzistory, AC 154 až AC 157 germániové difúzne tranzistory, AC 165 až AC 169 tranzistory



germániové difúzne. AD 140 a A 149 germániové výkonové tranzistory.

Kremíkové tranzistory sa ponúkali pod označením BA 116 a BA 126 a kremíkové diódy pod označením BY 100, BY 101, BY 105, BY 114, BY 124 a BY 130.



Na obrázkoch je vidieť niekoľko ponúkaných diód a tranzistorov. Germániová dióda AA 120 je asi jediná v ponuke v červenom plastovom puzdre TO – 1. Sady tranzistorov boli spoločne



predávané ako „tranzistorové zostavy“. Knižka dát z roku 1966 uvádza päť takýchto zostáv, ktoré sa pohybujú s koncovým výkonom 1,5 až 8 W. Thorn – AEI vyrobil dva výkonové tranzistory v puzdre TO – 3 pod označením AD 140 a AD 149.

Spoločnosť začala s kremíkom pri výrobe diód typu BA... Vyrábali sa i duálne diódy pod označením BA 116 určené pre obvody v televíznych prijímačoch. Kremíková dióda BY 105 bola v puzdre SO – 16, ktoré



bolo štandardom. Kremíková dióda BY 124 používa plastové puzdro.

Číne prišla v 50. rokoch pomoc vo vývoji polovodičových súčiastok aj zo strany ZSSR pri zriadení výrobných zariadení na spracovanie polovodičov. V roku 1956 vznikla „Chinese Academy of Sciences (CAS) a začali s produkciou tranzistorov

v experimentálnej rovine a PRC výskumný ústav v roku 1956 spolu s 13. výskumným inštitútom. Medzi prvými tranzistormi sú typy PMP nízko-frekvenčné s označením 3AX ..., na obrázku nízkonapäťové PNP pre medzifrekvenčné obvody v rade 3BG ako výkonové PNP v rade 3AD. Na obrázku je model 3AD2. Výkonové tranzistory 3AD1, 3AD2 a 3AD3 sú podobné výkonovým tranzistorom OC15 a SFT 114 a vhodné sú pre audio zosilňovače. Tranzistory sú typu PNP o veľkosti puzdra 33 x 11 x 26 mm a ich hmotnosť je 9 gramov.

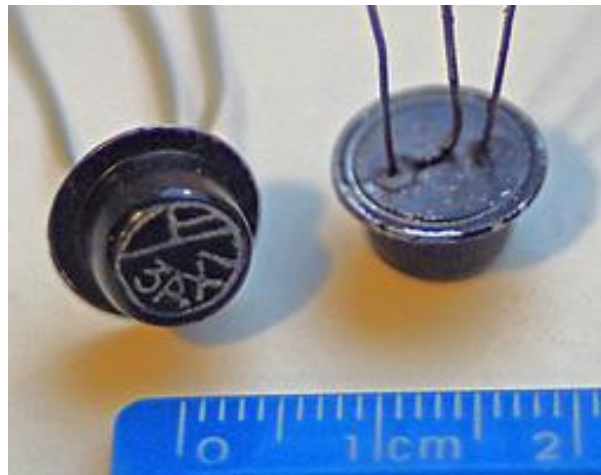
Tranzistory 3AX1, 3AX2 a 3AX3 sú PNP nízko-frekvenčné určené pre audio zosilnenie s malým výkonom. Na väčší výkon je vyrobený tranzistor PNP pod označením 3AX55C s inou veľkosťou puzdra. Ako výkonový tranzistor je určený typ

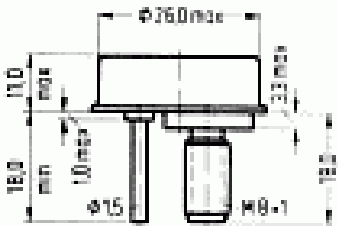
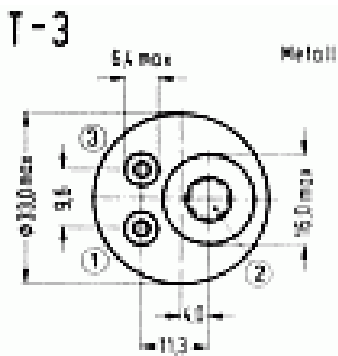
PNP pod označením 3AD54CJ uložený do staršieho



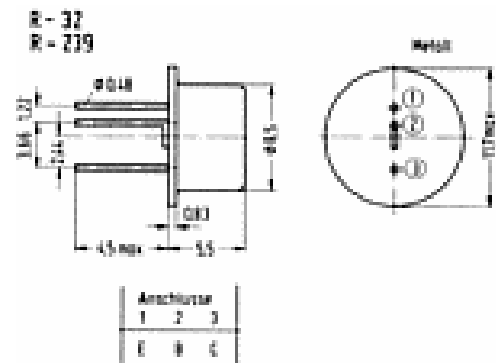
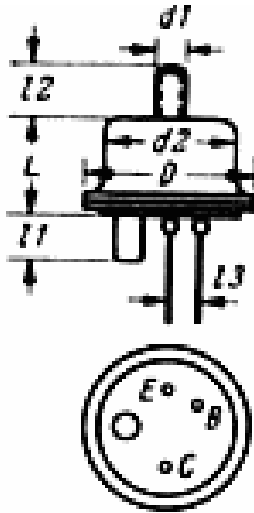
typu puzdra. Germániové diódy

používali označenie 2AK a 2AP pre miniatúrne hrotové so skleneným puzdrom a 2AV pre mikrovlnné hrotové diódy, 2AU sú fotodiódy. Určite sa vyrábali i usmerňovacie diódy z germánia a kremíka, len nie sú k nim podklady.





Anschlüsse		
1	2	3
E	C	B



Anschlüsse		
1	2	3
E	B	C

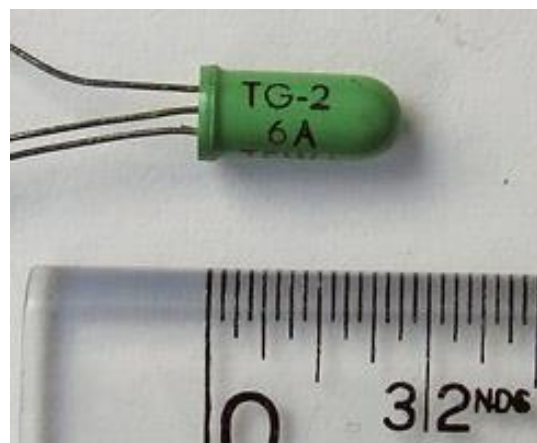
Na obrázkoch sú výkresy jednotlivých tranzistorov 3AD3 v strede, 3AX1 v pravo a 3AD1 vľavo.

Prvé Poľské diódy a tranzistory sa začali vyrábať v roku 1953 v IPP PAN

Institute of Electronics s označením TP1 až TP3. Boli to hrotové tranzistory a vzhľadom na nestabilitu parametrov neboli vhodné na praktické aplikácie. Prvé plošné priemyselne vyrábané tranzistory v Poľsku boli TC11 až TC15 v menších sériách v počte niekoľko tisíc kusov do roka 1959.



Výroba tranzistorov vo väčších sériách bola spustená v roku 1960 spoločnosťou Tewa. Jednalo sa o tranzistory nízkofrekvenčné zliatinové pod označením TG1, TG5 a TG70. Po roku bola spustená výroba tranzistorov TG10, TG20, TG50 a TG70 s vyššou frekvenciou. Na obrázku je vidieť TG2 v puzdre zelenej farby určené pre malý výkon. Fabryka tranzystorow (Tewa) bola založená v roku 1958 ako pobočka výskumu a vývoja poľského ministerstva komunikácie.



Ďalšou továrňou na polovodiče bola „Zakład Produkcji Pólprzewodników Pewa“, ktorá používala logo ZPP na niektorých skorých súčiastkach. V roku 1961 sa spojila Pewa s Tewa a logo sa používalo z písmen F a T (Fabryka Tranzystorów). Tewa vyrábala zliatinové a difúzne tranzistory z germánia, diódy

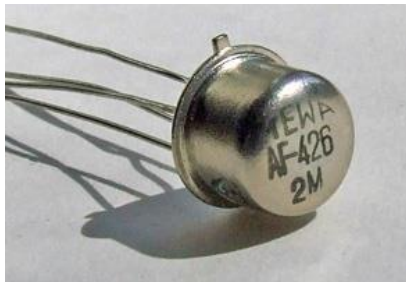


hrotové a usmerňovacie a niekoľko typov kremíkových diód v obmedzenom množstve. Podľa názorov vlastných odborníkov, bola kvalita poľských polovodičových súčiastok za kvalitou popredných svetových výrobcov. Významnejší výskum polovodičov prebiehal v Poľsku od roku 1962. Okrem toho Varšavská univerzita tvrdila, že vyvinula nové metódy rozptýlenia dotovaných materiálov typu N. V roku 1966 vyvinul Badenský inštitút pre jadrový výskum vo Varšave separačný a regeneračný proces na extrakciu germánia a jeho zlúčenín.



Prvé priemyselne vyrábané tranzistory v Poľsku boli TC 11 až TC 15, ale až tranzistory TG1 až TG5 s malým výkonom boli hromadne vyrábané, pričom TG1 bol určený pre malý výkon, TG2 bol lacný, TG3A a TG3F boli tranzistory s vysokým ziskom a nízkošumové, TG5 bol pre vyššie pracovné napätie kolektora a nízkošumový. Väčšinou sa používalo puzdro natreté zelenou farbou. Podobné parametre mali i tranzistory TG10 a TG20 nízkofrekvenčné a TG6 a TG8 s vyšším prípustným prevádzkovým napätím. Tewa vyrábala aj výkonové tranzistory TG50 až TG 55. TG 51 bol vysokonapäťový, TG 52 bol vhodný pre meniče, TG3 bol bežný nízkonapäťový a TG 55 bol vhodný do meničov. Tranzistory tejto série používali puzdro TO – 5. Výkonové tranzistory používali puzdro TO – 3 pod označením TG70 až TG72 s neštandardne dlhými vývodmi. Kódovanie poľských tranzistorov je na obrázku.

Tranzistory TG39 a TG40



v zelenom puzdre boli súčasťou série TG37 až TG41 vysokofrekvenčné so štvrtým vývodom pripojeným na puzdro.

Neskôr sa táto séria

prečíslovala na AF426 až AF430 v novom puzdre TO – 1 alebo TO – 5.

V Poľsku vyrábali i germániové diódy série DG a DOG, ktoré boli vysokofrekvenčné s typickými radiálnymi vývodmi v puzdre zo skla.

K dispozícii boli i nízkonapäťové usmerňovacie diódy DOP. Séria DZG bola usmerňovacia stredného výkonu v axiálnom prevedení s dĺžkou 15 mm. Ich max. prevádzkový prúd sa pohyboval od 0,3 do 0,9 A. Séria DMG výkonové diódy vhodné pre usmerňovače boli na prúdové zaťaženie 2 až 5 A.



V Bulharsku sa začala výroba tranzistorov a diód v roku 1964. Výrobné zariadenie bolo pomenované ako „Semiconductor Instrumentation Plat (SIP) so sídlom Botevgrad. Bolo vybudované behom devätnástich mesiacov spoločnosťou Zavodski Stroegi v Vratislavského kraja. Prví pracovníci nastúpili 23. 12. 1963, pričom väčšina z nich absolvovala 30 - dňový výcvik v závode CSF v Grenoble vo Francúzsku. Zariadenie získalo od spoločnosti COSEM a licenciu na výrobu tranzistorov a diód SFD a SFT.

V septembri 1964 bola spustená linka na hrotové diódy a 13. novembra 1964 sa uskutočnil predaj diód a tranzistorov.

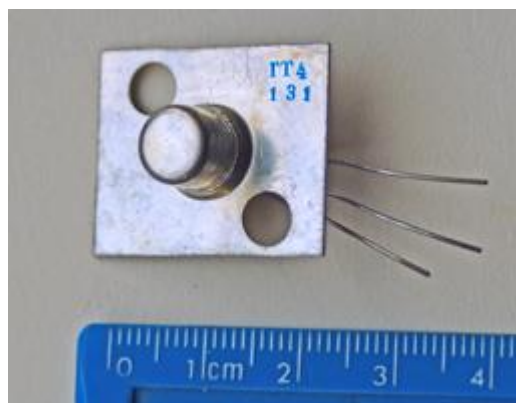
Výroba bola v rokoch 1965 až 1973 rozšírená na štyri hlavné výrobné linky: germániové diódy a tranzistory, planárne epitaxné, kremíkové a MOS integrované obvody. Na obrázku je jeden z licenčne vyrábaných tranzistorov.



CYFRA	ROK	
1	1959	1968
2	1960	1969
3	1961	1970
4	1962	1971
5	1963	1972
6	1964	1973
7	1965	1974
8	1966	1975
9	1967	1976

LITERA	MIESIAC
A	STYCZEŃ
B	LUTY
C	MARZEC
D	KWIECIEŃ
E	MAJ
F	CZERWIEC
G	LIPIEC
H	SIERPIEŃ
J	WRZESIEŃ
K	PAŹDZIERNIK
L	LISTOPAD
M	GRUDZIEŃ

Polovodičové súčiastky sa v rámci RVHP vyvážali do NDR, ČSSR, ZSSR, Poľska, Rumunska, Severnej Kórey a niektorých krajín západnej Európy. V Bulharsku pri označovaní diód používali ako prvé písmeno D a tranzistor písmeno P, prípadne MP. Novší bulharský systém označovania je zdokumentovaný v norme 9840 – 72. Prvé



písmeno alebo číslica je druh materiálu. Ak sa jedná o germánium, tak je to G alebo číslica 1, pre kremík je to písmeno K alebo číslica 2. Druhé písmeno je druh súčiastky, či sa jedná o diódu, tak je to písmeno D a ak ide o tranzistor tak je to písmeno T. Na obrázku je vidieť tranzistor GT 131 so stredným výkonom s prídavnou chladiacou plochou.

Tretím prvkom označenia je sériové číslo s viacerými číslicami a štvrtým prvkom je podskupina a veľkosť zisku. Prvé germániové súčiastky vyrobené v SIP sa značili s názvom SFD pre diódy a SFT pre tranzistory. Na obrázku je výkonový tranzistor v puzdre TO – 3.



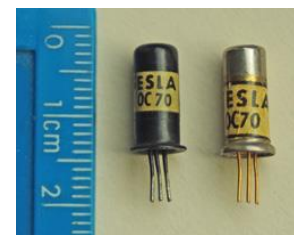
V ČSSR sa hrotové tranzistory pre komerčné použitie nevyrábali z dôvodu vysokej hladiny šumu spôsobenú nedokonalým kontaktom kovových hrotov s povrchom kryštálu germánia. Ani leštený povrch nepriniesol požadované výsledky, lebo leštený povrch má miesta dobré vodivé i nevodivé. Táto elektrická homogenita povrchu je spôsobená mikroskopickými zmenami štruktúry pri leštení, nerovnomerné rozptýlenie atómov prímiesí, použité k dosiahnutiu určitého druhu vodivosti a oxidačnými vplyvmi atmosféry. Vrstvové triódy v porovnaní s hrotovými dávajú väčšie zosilnenie na nízkych frekvenciách, ale pri vyšších kmitočtoch ich zosilnenie klesá. Na výrobu tranzistora z germánia sa používa elektrolýza. V plošných tranzistoroch môžeme pracovať s veľmi tenkými germániovými doštičkami, takže doba prechodov nábojov sa skrúti. Doštička je vyrezaná z germániového kryštálu s vodivosťou elektrónov a doštička má veľkosť 1,2 x 2,5 mm a hrúbku 75 μm .

Do tejto doštičky sú z oboch strán vyleptané jamky oddelené prepáškou hrubej iba 5 μm . Na ploche dno oboch jamiek je nanosená tenká vrstva kovu.

Germániová doštička je elektródou „baza“ a kovové elektródy slúžia ako emitor „E“ a kolektor „K“. Zaujímavá je výroba tranzistora. Tranzistor sa montuje do miniatúrneho hermeticky uzatvoreného krytu s tromi kolíkmi.

V Československu bola výroba polovodičových súčiastok realizovaná v Tesla Rožnov pod Radhoštem v malom meste na Morave. V roku 1950 bol na VUST (Výskumný Ústav Sdellovací Techniky), vyvinutý experimentálny bodový tranzistor. Medzi rokmi 1953 až 1954 boli vo výrobe hrotové diódy a vyvíjali sa zliatinové tranzistory. Výroba prvých tranzistorov PNP série 1NU40 až 4NU40 začala v roku 1955 a v roku 1958 začala sériová výroba tranzistorov NPN 101NU70 až 104NU70 a vysokofrekvenčných pod označením 152NU70 až 155NU70. V roku 1956 bol uvedený na trh prvý tranzistorový rádioprijímač osadený tranzistormi 10XNU70 s jedným XNT40, bodovým tranzistorom vo vysokofrekvenčnom obvode. V roku 1958 bol daný do výroby prijímač T58. Každá tranzistorová séria Tesla NU je označená číselnou príponou a má premennú číslicovú predponu, ktorá označuje maximálne napätie. Všetky tieto typy plošných tranzistorov boli nízkofrekvenčné. Séria 1NU40 až 4NU40 boli vyhotovené v puzdre zo skla s farebným označením vývodov. Kolektor – červenou farbou, báza - čiernou farbou a emitor – žltou farbou. Séria 1MU70 až 4NU70 boli osadené už v kovovom puzdre. Na začiatku 60. rokov Tesla začala vyrábať germániové tranzistory rady Philips – Mullard pod označením OC70 až OC77 a OC169, OC170, ktoré mali štyri vývody a boli určené pre vyššie frekvencie. Vyrábali sa i nízkofrekvenčné PNP tranzistory typu GC501 až GC506. Výkonové tranzistory PNP mali sériové označenie 2NU72 až 5NU72 s výkonom do 4 W v puzdre TO – 66. Vyrábali sa i OC30 od spoločnosti Mullard.

Ďalšia séria mala označenie 2NU73 až 7NU73, ktoré dokázali vyvinúť výkon 12,5 W v puzdre TO – 3 a vyrábali sa i tranzistory pod označením OC26 a OC27. Najvýkonnejšou sériou germániových výkonových tranzistorov bola 2NU74 až 7NU74 s výkonom 50 W.





Tesla vyrábala germániové diódy v rade GA a GAZ v puzdre TO – 1A s použitím zlatého prepojenia ako rýchle diódy. Je to kópia diód Philips – Mullard OA5, OA7 a OA9. Kremíkové



diódy sa začali vyrábať sériovo pod označením KY a KYZ v Tesla Piešťany a vyrábali sa i fotodiódy z germánia typu 10PN41 až 13PN41 a 10PP41 až 12PP41.

Tesla Rožnov vznikol z rozhodnutia vlády z novembra 1948 tak, že rozostavané objekty ELITE sa premenia na podnik „Slaboprúdové a rádiotechnické závody“ Praha a ďalšou etapou bol poverený podnik Tesla Hloubětín II. a nakoniec z toho vznikla Tesla Rožnov. Prvým výrobkom v tomto závode bola vysokotlaková ortuťová výbojka pre „horské slnko“ v novembri 1949. V roku 1950 bola zahájená výroba elektrónok asi 1400 zamestnancami najmä mladými dievčatami. V roku 1953 bola zahájená výroba „guľatých obrazoviek“ pre čiernobiele televízory. Postupne sa začali vyrábať rôzne typy elektrónok. V roku 1955 bola zahájená výroba germániových diód a plošných zliatinových tranzistorov z germánia nízkofrekvenčné v roku 1958 aj vysokofrekvenčné vhodné pre VHF a UHF televízne pásmo. Výroba germániových mesa tranzistorov bola ukončená v polovici 80. rokov. V roku 1958 začali z výrobou kryštáli kremíka a prvé monokryštály mali priemer 20 mm. V roku 1959 bola zahájená výroba kremíkových diód od hrotových po planárne s veľkými prúdmi až do 100 A. V roku 1962 začala z výroba kremíkových tranzistorov NPN a PNP malého a stredného výkonu a nízkofrekvenčné a vysokofrekvenčné spínacie tranzistory s výkonom do 150 W a s napätím 600 voltov. NMOS tranzistory sa začali vyrábať v druhej polovine 60. rokov v Tesla Piešťany, kde sa aj samostatne rozvíjal program výroby diód, tranzistorov malých a stredných výkonov, tyristory, triaky a integrované obvody CNOS. V Tesla Rožnov bola zahájená výroba analógových integrovaných obvodov a jednalo sa o jednoduché obvody. Neskôr sa začali vyrábať ucelené rady integrovaných obvodov TTL, HTL, čítače, multiplexery, AC a DC prevodníky a široký sortiment integrovaných obvodov pre televízne prijímače a spotrebnú elektroniku.

Integrované obvody boli vyrábané v puzdrách DIL 8 až 40 pinov, SMD prevedení 8 až 20 pinov, keramických 14 až 40 pinov.

V Tesla Rožnov boli do výroby zavedené v roku 1954 germániové diódy ako náhrada za batériové elektrónky, pričom nebol záujem o rozvoj týchto súčiastok ani zo strany vedenia podniku, ale ani od čelných predstaviteľov z vedenia priemyslu, ktorí hlásali, že „polovodiče nepotrebujeme a počkáme si až na celo vodiče a tranzistory vyrábať nebudeme, pretože ich nikto k ničomu nepotrebuje a potrebovať nebude“. A kvôli tomuto nezájmu sa začali v Tesla Rožnov vyrábať sériovo germániové diódy až v roku 1956 a krátko nato i germániové tranzistory. V tej dobe málokto dokázal odhadnúť rozsah a ďalšie smery polovodičových súčiastok. Polovodičová technika nabrala rýchlosť, akú takmer nik nepredpokladal. Prvé zliatinové tranzistory našli uplatnenie v prvých rádioprijímačoch vyrobených v Československu. Nasledovali ďalšie vysokofrekvenčné mesa tranzistory GF501 až GF504, výkonové OC30 a OC16. Používané technologické procesy výroby prechodov PN germániových polovodičových súčiastok sa behom času menili tak, aby sa dosiahlo čo najlepších vlastností a to i cez hrotovú diódu 1NN41, ku ktorej sa privaril zlatý hrot a vznikla rýchla dióda OA5. Zo zliatinového tranzistora 1NU40, vznikol difúzne zliatinový a difúzny OC170 pre vyššie frekvencie až difúzne zliatinových mesa tranzistorov z germánia GF507. Spočiatku bola výroba polovodičových súčiastok takmer manufaktúrna s malými sériami a úzkym sortimentom. Až v 60. rokoch začala výroba naberať postupne strojový postup a zvyšoval sa počet vyrobených typov a ich množstvo. V tom čase začal spôsobovať problém nedostatok germánia a štátnou úlohou bolo získať germánium z domácich zdrojov. Z jednou možností bola možnosť získať ho z popolčeka z elektrární, ale týmto sa tento problém nevyriešil, lebo monokryštál germánia nebol pre výrobu polovodičových súčiastok vhodný. Štátny úkol bol zrušený a i napriek embargu sa germánium dovážalo zo západnej Európy. Výroba posledných typov germániových tranzistorov, ktorými boli vysokofrekvenčné pre kanálové voliče televíznych prijímačov bola ukončená koncom 70. rokov, keď boli nahradené kremíkovými tranzistormi. Výroba integrovaných obvodov vyžadovala úplne novú materiálnu základňu. Doposiaľ používané materiály nevyhovovali svojou čistotou, a preto bola v Rožnove zvládnutá rafinácia špeciálnych chemikálií a v spolupráci s hutami

boli vyvinuté nové materiály pre nosiče čipov IO a zmenila sa i náročnosť a presnosť nástrojov i technologických zariadení.

I napriek tomu, že je kremík najrozšírenejším prvkom na Zemi, asi 26 až 28 %, v čistej forme sa v prírode nevyskytuje. Od piesku k integrovaným obvodom je pomerne dlhá a zložitá cesta. Vyťaženy čistý kremenný piesok SiO_2 sa chemickou reakciou s uhlíkom prevedie najskôr na tzv. kremík. Tento kremík má nedostatočnú čistotu. Reakciou takto upraveného kremíka s chlorovodíkom získame kvapalinu trichlorsilan, ktorú je možno opakovanou destiláciou vyčistiť na požadovanú čistotu. Tepelným rozkladom trichlorsilanu v špeciálnych reaktoroch získame už polo kryštalický kremík polovodičovej čistoty. Technológia výroby čistého polykryštalického kremíka bola v Rožnove zvládnutá v roku 1959.

Pre použitie v IO je vyžadovaný monokryštál, ktorý má zhodnú orientáciu kryštalografickej mriežky v celom svojom objeme. Monokryštál sa vyrába pretavením poly kryštálu s nasledujúcou presne riadenou kryštalizáciou pomocou Czochralského metódy v zariadení nazývanom „ťažička“. Najskôr sa časti polykryštalického kremíka nasypú do nádoby z kremenného skla a za teploty len o niečo vyššej ako je teplota taveného kremíka $1450\text{ }^\circ\text{C}$ dochádza v zariadení ťahaním alebo rastom monokryštálu požadovaného priemeru. Pridané môže byť i požadované množstvo prímiesí, často sa totiž nevyrobia dokonale čisté monokryštály, ale monokryštály s nevlastnou vodivosťou N alebo P. Prvé monokryštály mali priemer iba 22 mm. Postupne sa vo výrobe vytvárali monokryštály kremíka s priemerom 150 až 200 mm. Pre pamäťové obvody a procesory sú dnes už bežné priemery kremíkových ingotov 300 mm. Monokryštál s dĺžkou 2 metre môže dosiahnuť hmotnosť aj 160 kg. Výroba polovodičových súčiastok z kremíka bola v posledných desiatich rokoch existencie Tesla Rožnov s výrobou farebných obrazoviek, hlavným výrobným programom. Na vývoji a výrobe sa podieľala rada erudovaných technikov a rozsah problematiky vývoja a výroby polovodičových súčiastok je veľmi široký. Rozvíjajúca sa výroba polovodičov vyžadovala stále viacej základného materiálu „kremíka“. Tak ako pred rokmi v prípade volfrámu a molybdénu i teraz stál závod pred problémom so zaistením dostatočného množstva základného materiálu. V rokoch 1958 až 1959 bola v Tesla Rožnov zahájená výroba vlastného kremíka metódou trichlorsilanovou. Postupne sa Tesla Rožnov stala monopolným výrobcem kremíka v ČSSR a jeho výroba predstavovala množstvo až do 30 ton ročne.

Prvé planárne tranzistory boli vyvinuté v roku 1959 firmou Fairchild a v nasledujúcom roku boli publikované základné princípy planárnej technológie. Už v roku 1961 zahájila Tesla Rožnov výskum vlastnej verzie planárnej technológie. Projekt vyžadoval vývoj čistých materiálov a vývoj základných technologických operácií. Zvládnutie planárnej technológie v Tesla Rožnov bolo demonštrované v roku 1964 na prvom planárnom tranzistore KF506, ktorý bol úspešne zavedený do výroby a o rok neskôr bol zavedený projekt výroby IO pod vedením Ing. E. Belluša.

Unipolárne tranzistory

Unipolárny tranzistor je nelineárna polovodičová súčiastka riadená elektrickým poľom. Elektrické pole je vyvolané elektrickým nábojom privedeným na riadiacu elektródu. Unipolárne tranzistory majú tri elektródy. Emitor, ktorý sa označuje písmenom E alebo S (source) zdroj, kolektor označujeme písmenom K alebo C prípadne D (drain) odtok a hradlo označujeme písmenom G (gate) hradlo alebo brána alebo riadiaca elektróda. Unipolárny tranzistor sa označuje skratkou JFET (Junction Field Effect Transistor), poľom riadený tranzistor. Prenos sa vykonáva jedným druhom nosičov náboja, a preto ho označujeme ako unipolárny. Tranzistory JFET predstavujú dokonalú náhradu prijímacích vysokofrekvenčných elektrónok, pretože môžu pracovať pri napätí až 300 V.

Poľom riadený tranzistor bol po prvýkrát patentovaný Julius Edgar Lilienfeld v roku 1926 a v roku 1934 Oskar Heil spresnil možnosť riadenej vodivosti, ale prakticky použiteľné JFET boli vyvinuté až neskôr, potom, čo bol tento efekt pozorovaný a vysvetlený tímom Williama Shockley v Bell Labs v roku 1947. Prvý typ JFET bol „Statický indukčný tranzistor“ (SIT), ktorý vynašli v Japonsku inžinieri Jun – ich Nishizawa a Y. Watanabe v roku 1950. SIT je typ JFET s krátkou dĺžkou kanálu. V roku 1959 Dawon Kahng a Martin Atall vynašli tranzistor MOSFET (kov – oxid – polovodič tranzistor riadený poľom), ktorý z veľkej časti nahradil tranzistor JFET a mal veľký vplyv na digitálny elektronický vývoj. Väčšina FET tranzistorov má aj štvrtý vývod nazývaný ako „základ“ alebo „telo“ alebo „substrát“. Tento štvrtý vývod slúži na spustenie tranzistora do prevádzky.

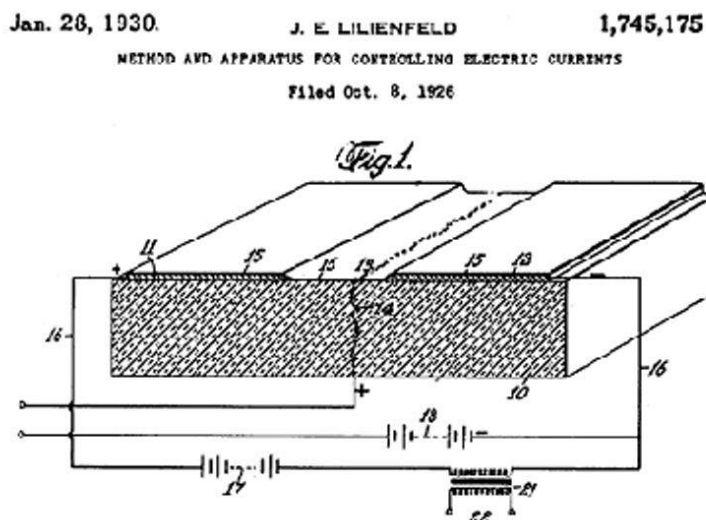
Julius Edgar Lilienfeld (18. 4. 1882 – 28. 8. 1963) sa dožil 81 rokov. Bol to americký fyzik a elektrotechnický inžinier, ktorý získal prvé patenty z oblasti

„poľom riadeným tranzistorom“ (FET) v roku 1925 a elektrostatickým kondenzátorom z roku 1931. Z dôvodu nedostatočného publikovania v odborných časopisoch a z nedostatku vysoko čistých polovodičov, ktoré neboli v tom čase k dispozícii, jeho patent FET tranzistorov nedosiahol potrebnú pozornosť a neskôr spôsobil zmätok, keď v roku 1947 sa objavil bipolárny



hrotový tranzistor. Narodil sa v Lembergú v Rakúsko – Uhorsku. V rokoch 1900 až 1904 študoval na Friedrich – Wilhelms – Universität, ktorá sa v roku 1949 premenovala na Humboldtovú univerzitu v Berlíne, kde získal aj titul PhD. 18. 2. 1905. V roku 1905 začal pracovať vo fyzikálnom ústave na univerzite v Lipsku ako profesor. Jeho skorá kariéra na univerzite v Lipsku začala v roku 1910 jeho dôležitou prácou na elektrických výbojoch vo vákuu medzi kovovými elektródami. Na obrázku

je usporiadanie prechodov v FET tranzistory. Viac ako, ktorýkoľvek iný vedec bol zodpovedný za identifikáciu emisii voľných elektrónov v poli ako samotného fyzikálneho efektu. Lilienfeld bol prvý, ktorý v anglickom jazyku zverejnil o experimentoch fenomenológii poľom emisii elektrónov z roku 1922. Efekt vysvetlil

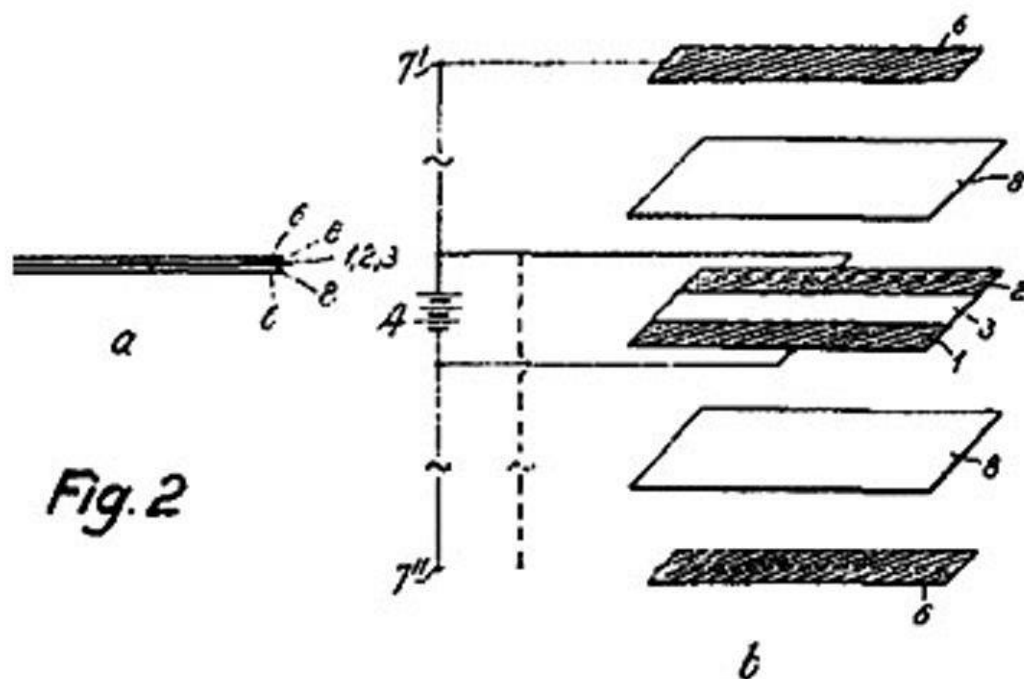


Fowler a Nordheim v roku 1928. V roku 1921 sa presťahoval do USA, aby tam uplatnil svoje patenty a opustil profesorské miesto na univerzite v Lipsku v roku 1926, aby tam zostal natrvalo. V roku 1928 začal pracovať v Amrad v meste Malden v štáte Massachusetts. V USA uskutočnil výskum anodických fólií z oxidu hlinitého, ktoré potom patentoval ako „elektrolytický kondenzátor“ v roku 1931, pričom tento spôsob sa používa počas celého storočia.

Tiež vynášiel tranzistor „FET“ a vlastnil patent USA č. 1 745 175, ktorý mu bol udelený 28. 1. 1930. Keď sa Brattain, Bardeen a ich kolega Robert Gibney pokúšali získať patent na svoj hrotový tranzistor, väčšinou boli žiadosti zamietnuté kvôli patentu Lilienfelda. Lilienfeld bol žid, ktorý mal dvojité občianstvo a to v Spojených štátoch a v rodnom Rakúsko – Uhorsku, ktoré v roku 1918 zaniklo. Oženil sa s Američankou Beatrice Ginsburgovou v New Yorku 2. 5. 1926. Žili vo Einchester v štáte Massachusetts, kde bol vedúcim Egon Research Laboratories v Maldene a občanom USA sa stal v roku 1934. V roku 1935 si postavili s manželkou dom na amerických Panenských ostrovoch s nádejou, že uniknú alergii zo pšeničných polí, ktorou trpel.

Oskar Heil (20. 3. 1908 – 15. 5. 1994) na obrázku s manželkou Agnesou Heil, bol nemeckým elektrotechnickým inžinierom a vynálezcom. Študoval fyziku, chémiu, matematiku a hudbu na Georg - August univerzite v Göttingene a získal tam i titul PhD. v roku 1933 za prácu na molekulárnej spektroskopie. Na univerzite sa Oskar zoznámil s ambicióznou mladou ruskou fyzičkou Agnesou Arsenjevovou(1901 – 1991), ktorá tu tiež získala doktorát a v Leningrade sa vzali v roku 1934. Spoločne sa presťahovali do Spojeného kráľovstva a pracovali v Cavendish Laboratory University of Cambridge. Na výlete do Talianska napísal priekopnícku prácu o generovaní mikrovln, ktorá bola publikovaná v Nemecku v časopise Zeitschrift für Physik (žurnál o fyzike). Agnesa následne vrátila do Ruska, aby pokračovala v práci na Fyzikálno – chemickom inštitúte v Leningrade spolu so svojím manželom. Potom sa však vrátili do Anglicka.





Na obrázku je ilustrácia tranzistora riadeného poľom v jeho patentovom spise z roku 1935.

Na začiatku II. sv. vojny sa vrátil do Nemecka cez Švajčiarsko. Počas vojny pracoval na mikrovlnnom generátore pre spoločnosť C. Lorenz AG v Berlíne. V roku 1947 bol Heil pozvaný do USA. Po vykonaní vedeckej práce pre Eitel McCullough a neskôr divíziu Varian Eimac v San Carlos v rokoch 1955 až 1983 založil vlastnú spoločnosť Heil Scientific Labs Inc., v roku 1963 v Belmont v Kalifornii. Agnesa zostala v ZSSR až do svojej smrti v roku 1991. Heil sa spomína ako vynálezca skorého tranzistorového zariadenia, založeného na niekoľkých patentoch, ktoré mu boli vydané. Tranzistory riadené poľom (FET) boli v skutočnosti po teoretickej stránke vynájdené pred bipolárnymi tranzistormi. Oskar opísal možnosť riadenia odporu v polovodičovom materiály s elektrickým poľom v britskom patente z roku 1935.

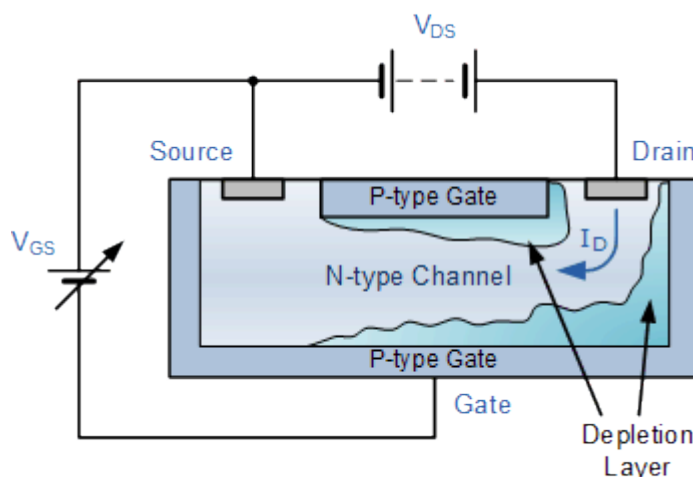
John Bertrand Johnson (2. 10. 1887 – 27. 11. 1970) sa dožil 83 rokov a bol narodený vo Švédsku a pracoval v Bell Telephone Laboratories ako elektroinžinier a fyzik. Bol pravdepodobne prvý, kto vytvoril tranzistor s efektom pracovného poľa, založený na patente Julieta Edgara Lilienfelda z roku 1928. V svedectve amerického patentu úradu v roku 1949 Johnson uviedol, že aj keď modulácia indexu 11 % nie je veľké číslo, ale je dôležitý užitočný výstupný výkon ako operačný zosilňovač.

Je potrebné uviesť, že polovodiče riadené elektrostatickým poľom je možno používať pre zosilnenie signálov pri kmitočte prevyšujúce 100 MHz a práve to bola hlavná príčina vývoja tohto typu tranzistorov, keď bežný plošný tranzistor dokázal v tom čase spoľahlivo pracovať s kmitočtom do 3 MHz. Časom sa zlepšila výroba bipolárnych

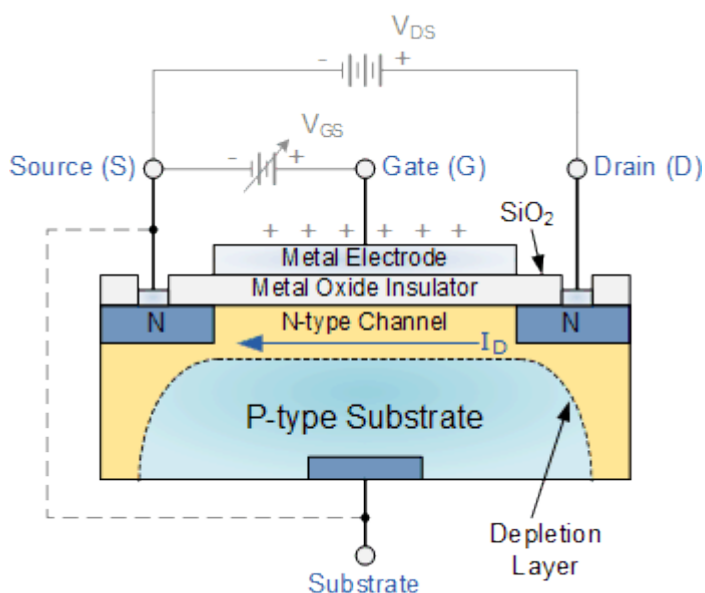
tranzistorov technikou drift a planar, ktoré už zvládali kmitočty nad 100 MHz. To malo za následok, že niektoré výskumné strediská prerušili práce na vývoji polovodičových prvkov riadených elektrostatickým poľom.

Niektoré však pokračovali vo výskume ďalej a medzi ne patrili

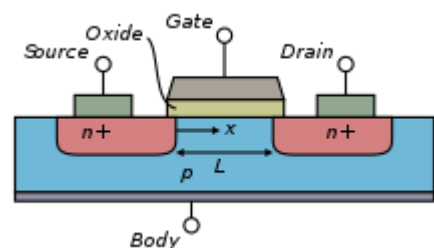
i Francúzske výskumné laboratóriá. Podarilo sa im vytvoriť „Tecomtron“ tzv. unipolárny tranzistor, ktorý bol uverejnený vo Francúzsku a prvok riadený elektrostatickým poľom, ktorý niesol názov „Alcatron“. V tom čase tieto prvky neznamenal žiadny technický prevrat, ten nastal až po určitom čase. Unipolárny tranzistor pozostáva z obdĺžnikovej alebo kruhovej doštičky z polovodiča typu N, ma ktorej je v blízkosti stredu umiestnený polovodič typu P. Ak pripojíme na emitor (source) a kolektor (drain) napájacie napätie 50 až 100 voltov, tečie polovodičom prúd veľkosti asi 1 mA. Na plášť z polovodiča typu P, ktorý tvorí riadiacu elektródu (gate), pripojíme napätie 10 až 15 voltov, záporné voči emitoru. Prechod PN medzi riadiacou elektródou a základnou doštičkou sa vtedy chová ako dióda v uzavretom stave. V blízkosti prechodu sa vytvorí v polovodiči typu N (na doštičke) priestorový náboj, ktorý je tým väčší, čím



zápornejšie je napätie na riadiacej elektróde (hradlová vrstva zasahuje hlbšie do oblasti typu N). Vznik priestorového náboja má za následok zmenšenie efektívneho vodivého prierezu doštičky, ktorý je tým väčší, čím zápornejšie je napätie na riadiacej elektróde. Takto je teda možno ovplyvňovať odpor polovodičovej doštičky medzi emitorom a kolektorom. Podľa tohto popisu činnosti unipolárneho tranzistora je veľká podobnosť s elektrónkou. Emitor, riadiace elektróda a kolektor, zodpovedajú činnosti katóde, riadiacej mriežke a anóde, ale strmosť riadiacej elektródy na kolektorový prúd je voči elektrónke mala. Veľkou nevýhodou unipolárneho tranzistora je to, že pre svoju činnosť potrebuje asi sedemnásobne vyššie napájacie napätie než bežný plošný tranzistor. Tranzistory FET delíme na dve skupiny: Tranzistory s hradlom oddeleným



prechodom PN. Tieto tranzistory majú medzi hradlom a kanálom vytvorený PN



priechodom, ktorý sa prevádzkuje polarizáciou v závernom smere. Druhou skupinou je tranzistor s hradlom

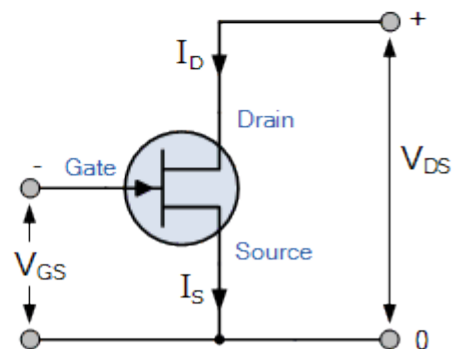
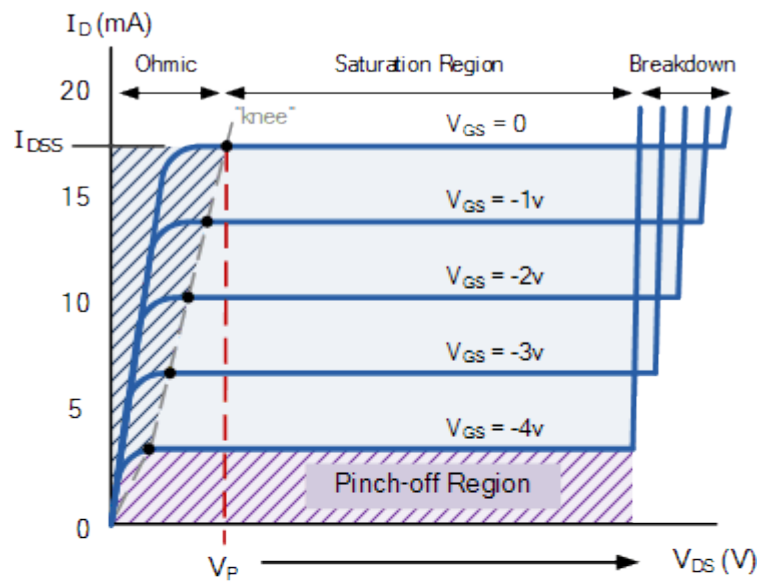
oddeleným izolačnou vrstvou. Tranzistory tohto typu majú medzi hradlom a kanálom vytvorenú vrstvičku dielektrika. Označujeme ich skratkou MIS FET (Metal Insulator Semiconductor), ale my ich poznáme najčastejšie pod označením MOS FET (Metal Oxid Semiconductor). Tranzistory P – JFET sa pripájajú kolektorom na záporné napätie a emitorom na kladné napätie, podobne ako u tranzistorov PNP. Otvorené sú pri nulovom napätí medzi riadiacou elektródou a emitorom, kladným napätím (voči emitoru) privedeným na riadiacu elektródu sa tranzistor uzatvorí. Tranzistory NMOS s vodivým kanálom sa pripája kolektorom na kladné napätie a emitor na záporné napätie, ako je to u tranzistorov NPN. Tranzistor je čiastočne otvorený pri nulovom napätí medzi elektródami G a E. Privedením záporného napätia na elektródu G (voči emitoru)

sa tranzistor uzatvorí, ale zvyšujúcim kladným napätím sa otvára. Tranzistory PMOS s vodivým kanálom sa peipája kolektor ma záporné napätie a emitor na kladné napätie, ako u tranzistorov PNP. Tranzistor je čiastočne otvorený pri nulovom napätí medzi riadiacou elektródou a emitorom. Záporným napätím (voči emitoru) privedeným na riadiacu elektródu sa tranzistor otvára, ale kladným napätím sa zatvára.

Všetky vertikálne tranzistory môžu v normálnom režime blokovat' vysoké napätie a spínať veľké prúdy. Ich parametre možno rozdeliť do dvoch kategórií: parametre medzné a parametre prevádzkové. Údaje medznej hodnoty ako sú napätie medzi kolektorom a emitorom U_{CEM} , medzná hodnota medzi riadiacou elektródou a emitorom U_{GEM} , maximálny kolektorový prúd I_{CM} a maximálny stratový výkon P_{TOT} nesmú byť v žiadnom prípade prekročené, lebo hrozí zničenie tranzistoru.

U moderných tranzistorov sa jedná často o napätie aj

niekoľko stoviek voltov a prúdom s desiatkami ampérov s výkonom stoviek watov. Ďalším veľmi dôležitým parametrom je odpor v zopnutom stave R_{SEP} . Jeho veľkosť úzko súvisí z priernym napätím kolektor – emitor. Oba parametre závisia na hrúbke a dotovaní epitaxnej vestva N. Čím väčšie je toto prierné napätie , tým väčšie bude u R_{SEP} . Veľkosť tohto odporu môže byť i niekoľko stotín ohmu. K tomuto odporu je potrebné pripočítať montážne odpory akými sú odpor puzdra vnotorné prívody prechodové odpory pri spajkovaní.



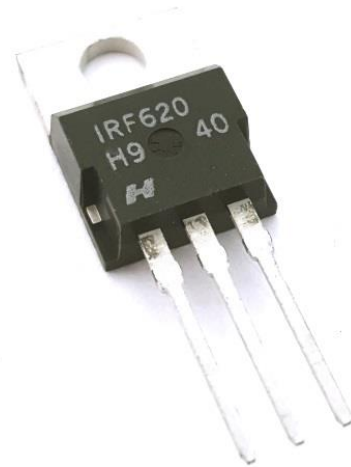
Pre informáciu uvedieme niekoľko výkonových NMOS tranzistorov.

Typ volty	U_{CEM} volty	I_{CM} ampére	R_{SEP} m Ω
IRF1404	40	162	4
IRF540N	100	22	77
IRF640NS	200	18	150
STW15NK50Z	500	14	300

Vlastnosti PMOS majú podobné parametre, ale tieto sa nevyrábajú pre tak veľké prierazné napätie. U bipolárneho tranzistora, ktorý využíva stavu nasýtenia, sa pri zopnutí v jeho hromadí priestorový náboj. Jeho odvedenie pri vypínaní spôsobuje problémy a zpomaľuje jeho činnosť. Lokálne prehriatie znižuje odpor, zvyšuje prúdovú hustotu vo viac zahriatych miestach a hrozí zničenie tranzistora. Pri MOS tranzistoroch má odpor epitaxnej vrstvy kladný teplotný súčiniteľ, čo je spôsobené zníženou pohyblivosťou nosičov náboja pri vyšších teplotách. Pokiaľ porovnáme spínacie straty a ďalšie vlastnosti, ako je rýchlosť spínania a odolnosť proti preťaženiu, sú do napätia 200 voltov tranzistory MOS jasným favoritom. Až pri vyšších spínacích napätiach okolo 1000 voltov vznikajú menšie straty na bipolárnych tranzistoroch. Na obrázku je výkonový MOSFET tranzistor vyrobený spoločnosťou HexFet v puzdre TO – 3. Jeho niektoré parametre majú hodnoty: pracovná teplota T_j 25 °C, prierazové napätie 200 voltov, prahové napätie pri $V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250 \mu A$, - 2 až - 4 voltov, spätná väzba z prívodu zdroja $V_{GS} = - 20$ voltov, 100 nA, doba nábehu 100 ns, vstupná kapacita pri $V_{GS} = 0$, $V_{DS} = 25$ voltov, $f = 1$ MHz, 700 pF, zdrojový prúd 6,5 A max. Tranzistor je uložený v kovovom puzdre staršieho vyhotovenia.



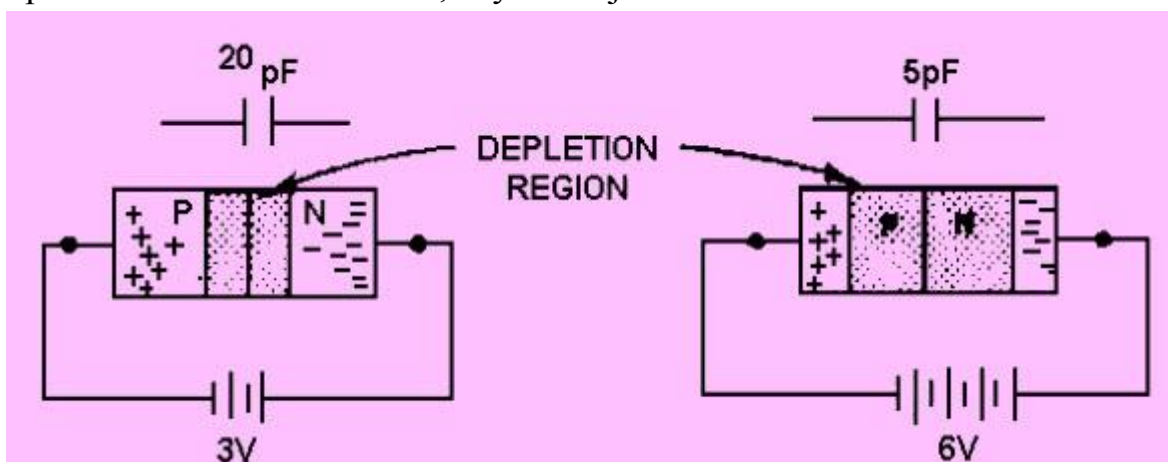
Na obrázku je výkonový MOSFET s N – kanálom od spoločnosti Harris v puzdre To – 220AB. Zdrojové napätie je 200 V max., RGS = 20 k Ω , prevádzkový prúd 5 A, pulzný prúd 20 A, brána zdrojového napätia +/- 20 V, max. strata energie 40 W, pracovná teplota – 50 až + 150 °C, čas vzostupu a klesania 30 ns.



V Československu boli vyrobené MOSFET tranzistory pod označením KF 520 a KF 521 s N – kanálom s U_{CE} 30 voltov, U_{GE} +/- 70 voltov, I_C 30 mA, P_{TOT} 300 mW s pracovnou teplotou do 175 °C.

Varicap a Varactor

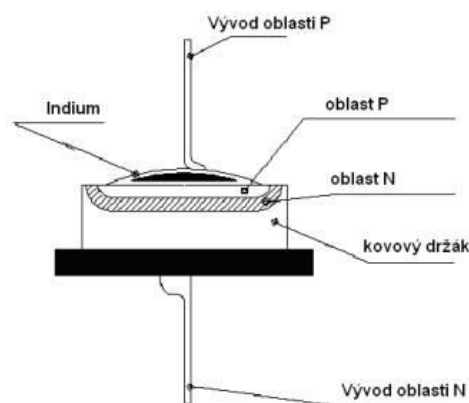
Vďaka elektronike a vyspelej technológii prišla doba, kedy polovodivé kryštály začali nahrádzať elektrónky. Je to preto, že v rade prípadov majú zapojenia s polovodičmi také vlastnosti, akých nie je možné s elektrónkami dosiahnuť.



Takýmto príkladom je parametrický zosilňovač. Aby sme správne pochopili funkciu kryštálovej diódy v parametrickom zosilňovači, bude nutné si vysvetliť, k akým pochodom v dióde dochádza. Ak je kremík alebo germánium v dvoch samostatných formách, ktoré označujeme ako P – typ a N – typ, pričom P – typ obsahuje voľné kladné náboje, ale N – typ obsahuje voľné záporné náboje. Ak je časť polovodiča typu – P pevne pripojená k polovodiču typu – N, nazývame toto usporiadanie plošnou diódou. Ak pripojíme kladné napätie na polovodič P a záporné na polovodič N, začnú sa odpudzovať voľné náboje z koncov diódy a posúvajú sa smerom k rozhraniu prechodu PN. To má za následok výmenu nábojov, teda vlastne zvod, čo znamená, že dióda je v priepustnom stave.

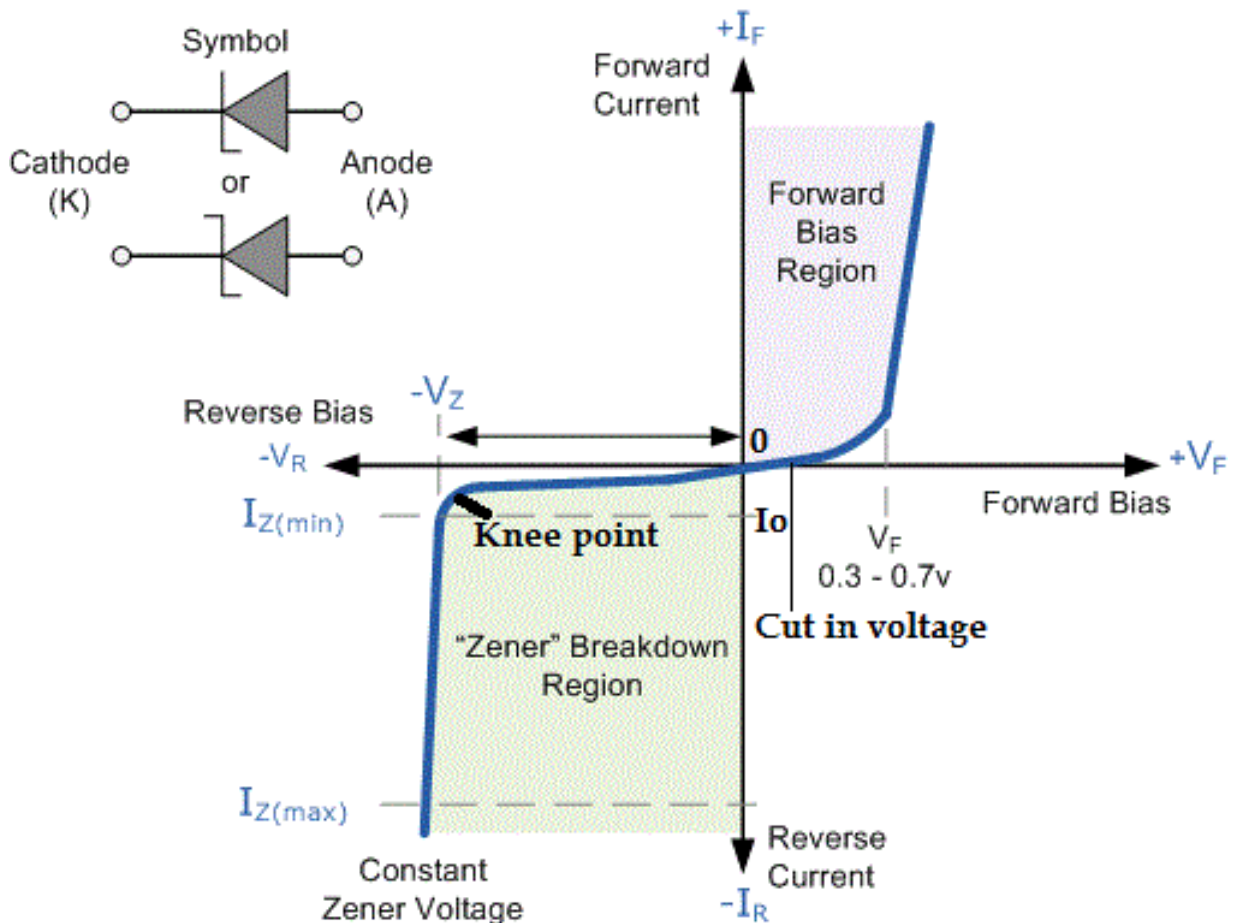
Ak však zmeníme polaritu napätia na oboch koncoch plošnej diódy, voľné náboje sa rozostúpia a vzdľajú sa od styčnej plochy PN, pričom vzniká neutrálna oblasť a nie je možná žiadna výmena nábojov, ako bolo tomu v prvom prípade, teda dióda je v uzatvorenom stave a nevedie prúd. Zamerajme teraz pozornosť na neutrálnu oblasť, ktorá vznikla predpätím. Táto oblasť môže byť považovaná za dielektrikum, pretože v nej vlastne neexistuje žiadny voľný náboj. Naproti tomu obe krajné oblasti, kam sa rozostúpili voľné náboje, môžeme považovať za vodiče. Stredné rozhranie PN prestalo mať pre nás význam, ale vznikli dve nové rozhrania a to medzi strednou nevodivou oblasťou a dvoma krajnými vodivými oblasťami. Tieto rozhrania vzhľadom k svojim vlastnostiam teraz pôsobia ako dosky kondenzátora, ktorého kapacita je daná vzdialenosťou týchto dosiek a teda priamo veľkosťou napätia. Nízke napätie spôsobí veľkú kapacitu a vyššie napätie zase väčšie vzdialenosti „imaginárnych dosiek“ a malú kapacitu. Princíp je vidieť na predchádzajúcom obrázku. Túto vlastnosť využívame pri ladení vo vysokofrekvenčných obvodoch prijímačov.

Varicap bol vyvinutý dcérskou spoločnosťou Pacific Semiconductors spoločnosti Romo Wooldridge Corporation, ktorá získala patent na toto zariadenie v roku 1961. Názov zariadenia bol určený na základe dvoch slov VARIable CAPacitor „varicap“ a podobne vznikol i názov „varactor“ spojením slov VARIable reACTOR v spoločnosti TRW Semiconductors v októbri 1967, ktorá bola nástupcom spoločnosti Pacific Semiconductors. Rozdiel medzi varikapom a varaktorom je v tom, že varikap pracuje ako kondenzátor, ktorého kapacita sa mení pomocným jednosmerným napätím, pričom varaktor je kapacitná dióda, ktorá pracuje s tak veľkým striedavým signálom, že sa javí ako nelineárna kapacita. Neskôršie sa začal používať jednotná názov „kapacitná dióda“. Na obrázku je rez takouto diódou. Varikap sa používa ako kondenzátor riadený napätím v napäťovo riadených oscilátoroch (VCO) Voltage – Controlled Oscillator, v parametrických zosilňovačoch a frekvenčných multiplikátoroch ako aj vo frekvenčných syntenzátoroch, ktoré naladia množstvo staníc v rozhlasovom, televíznom prijímači a mobilnom telefóne.



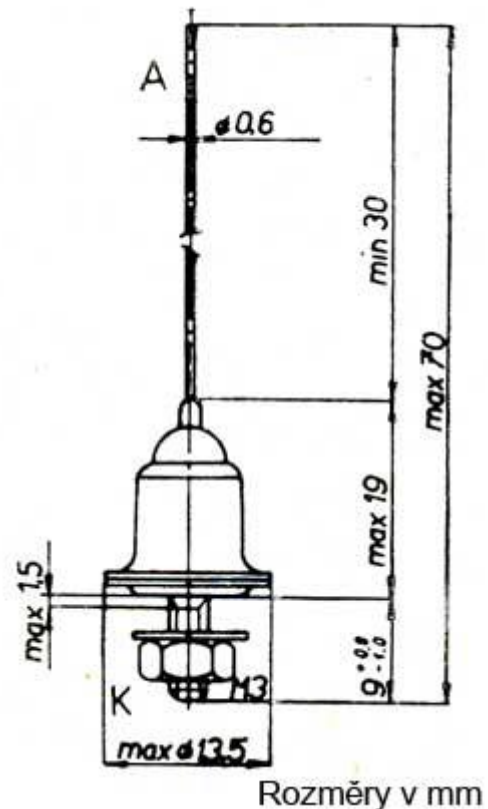
Pri týchto kapacitných diódach sa využíva hlavne to, že kapacita prechodu PN v závernom stave môže mať veľmi malý stratový uhol, malú teplotnú závislosť, malý šum a nezávisí od kmitočtu až do oblasti milimetrových vln.

Zenerová dióda (referenčná dióda) je polovodičová súčiastka s PN prechodom, ktorá sa používa predovšetkým ako stabilizátor napätia. Toto polovodičové zariadenie umožňuje jednosmerné prúdenie prúdu. S dostatočným napätím umožňujú tok prúdu v opačnom smere.

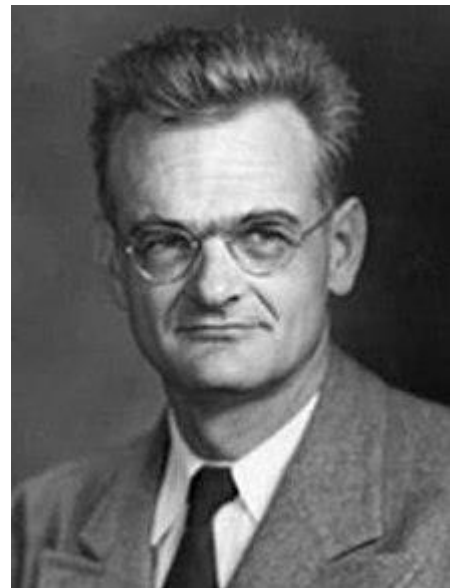


Nadmerné napätie potrebné na obrátenie smeru prúdu sa označuje ako poruchové napätie alebo Zenerové napätie. Hlavnou úlohou Zenerovej diódy je pracovať ako regulátor napätia a často sa používa v rôznych elektrických a elektrotechnických zariadeniach. Zenerová dióda je polovodičová súčiastka s PN prechodom, ktorá sa používa predovšetkým k zapojeniu ku stabilizácii napätia. Konštrukčne je určená k zapojeniu v závernom smere (nepriepustnom) smere, k čomu je prispôsobená tým, že jej prierez v tomto smere nie je likvidačný (znesie i opakované prierazy v závernom smere). V priepustnom smere sa chová ako klasická usmerňovacia dióda. Zenerové diódy sa delia na dva základné druhy:

Napät'ovo referenčné diódy a napät'ovo regulačné diódy. Zenerová dióda sa používa prevažne v stabilizátoroch napät'ových zdrojov. Slúži k tomu, aby pri veľkej zmene veľkosti odoberaného prúdu napätie takmer nekleslo, alebo iba málo. Na obrázku je náčrt staršieho prevedenia Zenerových diód. Dióda môže byť súčasťou ochranných obvodov, kde obmedzuje napät'ové špičky. Využíva sa toho, že na nej vzniká výrobou presne definovaný úbytok s minimálnou zmenou v závislosti na odoberanom prúde. Toto referenčné napätie môže potom slúžiť k riadeniu ďalších regulačných obvodov. Zenerová dióda sa vždy využíva v závernom režime, to znamená, že funkčná je vtedy, ak je na katóde kladné napätie a na anóde je záporné napätie. Otcou myšlienky je Dr. Clarence Melvin Zener.



Clarence Melvin Zener, fyzik, ktorého hypotéza o fyzike pevných látok prispeli k moderným počítačovým obvodom o desaťročia neskôr. Narodil sa a vyrastal v Indiapolise a absolvoval Standfordskú univerzitu a titul PhD. získal z fyziky na Harvardskej univerzite v roku 1929. Dr. Zener vyučoval na niekoľkých vysokých školách, ako boli City College v New Yorku a bol profesorom fyziky na univerzite Chicago, do doby, keď ho prijali v roku 1951 do Westinghouse. Bol autorom viac ako 125 článkov a kníh. S manželkou Ruby Cross mali spolu dve dcéry a dvoch synov. Jeho opis o rozpade elektrických izolantov neskôr použili v Bell Labs pri vývoji Zenerovej diódy, ktorá bola pomenovaná podľa jeho ako tvorcu myšlienky. Zener bol teoretický fyzik so zameraním na matematiku. Jeho doktorská práca bola nazvaná „Kvantová mechanika tvorby určitých typov ditomických molekúl“.



Počas obdobia II. svetovej vojny vyvinuli v laboratóriách Bell ďalší nový druh diód z polovodičov kremíka a germánia. Russell Ohl, ktorý bol výskumníkom, metalurgom v laboratóriách Bell, vyvinul diódu s použitím kryštálu germánia, ktorý vyrábala energiu v reakcii na svetlo. To uľahčilo premenu slnečnej energie na elektrickú energiu. V roku 1939 bol svet úplne závislý na elektrónkach pri výrobe rádioprijímačov a v Bell Laboratories hľadali alternatívnu náhradu vákuových trubíc a kryštály boli nádejnou možnosťou pre túto alternatívu. Veľá výskumu sa uskutočnilo s kryštálmi kremíka a germánia, ale do roku 1939 nebol žiaden z týchto výskumov úspešný a neposkytol potrebný výsledok. Okolo roku 1939 jeden z vedúcich vedcov Walter H. Brattain v Bell Labs poskytol na základe výskumu vyhlásenie, že vákuovým trubiciam bude patriť budúcnosť. Russell nebol s týmto vyhlásením spokojný a veril, že tieto nekonzistentné správanie polovodičov je spôsobené ich nedostatočnou čistotou a veril, že na dosiahnutie pozitívnych výsledkov by mohol prispieť vysoko čistý kremík. Pracoval na čistení kremíka na dosiahnutie čistoty 99,98 %, čo sa mu aj podarilo. Každý vynález má niečo spoločné s náhodou a príbeh PN Junction má tiež jednu takú náhodu. Jedného dňa ráno Russell preveroval nepredvídateľný kryštál kremíka, ktorý mal v strede trhlinu. Kryštál bol pripojený k voltmetru, na ktorom zaznamenal náhlu zmenu napätia, keď umiestnil kryštál pod žiarovku na pracovnom stole. Nikto predtým nezistil takéto správanie kryštálov. Russell to demonštroval svojmu šéfovi Mervinovi Kellym, ktorý bol ohromený týmto objavom a pozval Waltera Brattain, aby videl daný pokus. Brattain bol prekvapený asi desaťnásobným nárastom napätia. Ďalším výskumom sa zistilo, že kryštál má rôzne úrovne znečistenia na oboch stranách trhliny. Jedna strana kryštálu mala prebytok elektrónov a druhá strana kryštálu mala nedostatok elektrónov. Všetci vieme, že protiklady sa priťahujú a elektróny sa začali premiestňovať z oblasti nadbytku elektrónov do oblasti s nedostatkom elektrónov cez prasklinu. Kvôli zvláštnej povahe kryštálu sa elektróny mohli pohybovať len cez určitú vzdialenosť cez trhlinu (nie cez celý kryštál), čím vytvárajú bariéru medzi oblasťou prebytku a oblasťou, kde ich bol nedostatok. Bariéra umožnila prúdenie elektrónov len v jednom smere. Takto bola objavená základná forma prechodu PN. Ďalšie výskumy vylepšili proces a metódy a boli vytvorené bariéry a nie náhodná prasklina. Russell Ohl zaregistroval patent na „Light Sensitive Devices“ v marci 1954. Bol to jeho výskum kremíkových kryštálov a náhodný objav PN kanála (prechodu), ktorý mu umožnil pokračovať vo výskume a vynašiel základnú formu solárnych článkov.

Československé Zenerové diódy.

Zenerová dióda je kremíková plošná dióda s prechodom vodivosti PN alebo NP, u ktorej je vhodnou voľbou základného materiálu s určitým technologickým procesom, ktorým sa dosiahne charakteristická oblasť Zenerového napätia v závernom smere usmerňovacej charakteristiky. Používa sa ich ku stabilizácii napätia ako zdroja referenčného napätia, ochrany proti predpätiu, ako náhrada katódového odporu pre získanie predpätia, väzbový člen vstupov jednosmerných zosilňovačov a pod. Zenerové diódy môžeme podľa použitia rozdeliť do dvoch skupín. V prvej sú obvody, u ktorých má dióda pracovný bod v oblasti takmer konštantného napätia a iba pri zvýšenom napätí sa posunie pracovný bod do oblasti kde prúd prudko stúpa (v tomto prípade pracuje dióda ako ochrana predpätia). V tejto oblasti pracujú diódy ako zdroj referenčného napätia, v stabilizátoroch a podobných zariadeniach. V nasledujúcej tabuľke sú Zenerové diódy so stratovým výkonom 1,25 W.

typ	I _z mA	P _d W	R _t K/mW	U _z V	R _z ohm
1NZ70	230	5	0,021	5 - 6	1 až 2
2NZ70	200	5	0,021	6 - 7	1 < 2
3NZ70	180	5	0,021	7 - 8	1 < 2
4NZ70	170	5	0,021	8 - 9	1 < 2
5NZ70	130	5	0,021	8,8 - 11	2 < 4
6NZ70	110	5	0,021	11 – 13,5	4 < 7
7NZ70	90	5	0,021	13,5 – 16,5	6 < 11
8NZ70	70	5	0,021	16,2 - 20	10 < 18

U týchto diód sa posudzuje „Menovité Zenerovo napätie U_z.“ Zisťujeme, že do určitého napätia Zenerová dióda nevedie žiadny prúd v závernom smere. Za zlomom charakteristiky prúd prudko vzrastá, ale napätie zostáva skoro konštantné. Jeho veľkosť je rozhodujúca pre určenie príslušného typu v rade Zenerových diód. V praxi neprebíha charakteristická krivka kolmo k ose ale je naklonená. Tento sklon zodpovedá odporu, ktorý je označovaný ako „Spätný dynamický odpor R_z.“ Čím bude menší, tým strmšia bude prierazná časť charakteristiky a tým väčšia a lepšia bude stabilizácia, ale hodnoty uvedené v charakteristike platí pre určitý stanovený prúd. Zabránilo tým tomu, aby pracovný bod nepadol do zakrivenej časti charakteristiky.

Túto hodnotu je nutné zároveň pokladať za prípustnú maximálnu hodnotu prúdu Zenerovej diódy. V nasledujúcej tabuľke sú niektoré typy Zenerových diód so stratovým výkonom 10 W.

typ	I _z mA	P _d W	T _{th} K/mW	U _z V	R _z ohm
KZ703	320	2,5 < 10	3,5	6 – 7,8	< 1
KZ704	270	2,5 < 10	3,5	7 – 9,2	< 1
KZ705	240	2,5 < 10	3,5	8 – 10,2	< 2
KZ706	210	2,5 < 10	3,5	9,4 – 11,6	< 2
KZ714	85	2,6 < 10	3,5	24,2 – 29,8	< 4
KZ715	75	2,6 < 10	3,5	27 - 33	< 4
KZ751	38	2,6 < 10	3,5	58 - 66	80
KZ752	34	2,6 < 10	3,5	64 - 72	80
KZ755	26	2,6 < 10	3,5	85 – 96	80

Zenerový prúd I_z udáva veľkosť prúdu, ktorý tečie diódou v závernom smere pri vopred definovaných záverných napätiach. Veľkosť tohto prúdu udáva v podstate kvalitu príslušnej diódy ako usmerňovača a má byť čo najmenší. Teplotný činiteľ Zenerovho napätia T_{th}, uvádza, o koľko sa zmení Zenerovo napätie pri zmene teploty o 1 °C. V ČSSR dodáva zliatinové Zenerové diódy Tesla – Rožnov pre Zenerové napätie od 5 do 20 voltov a so stratovým výkonom 1,15 W. V roku 1961 bol ukončený vývoj výkonových difúzných Zenerových diód pre Zenerovo napätie 9 až 100 voltov so stratovým výkonom 10 W. Neskôr bola výroba kremíkových Zenerových diód presmerovaná do Tesla – Piešťany. Na obrázku je Zenerová dióda 2NZ70 so stratovým výkonom do 1,25 W.



Viac vrstvé súčiastky

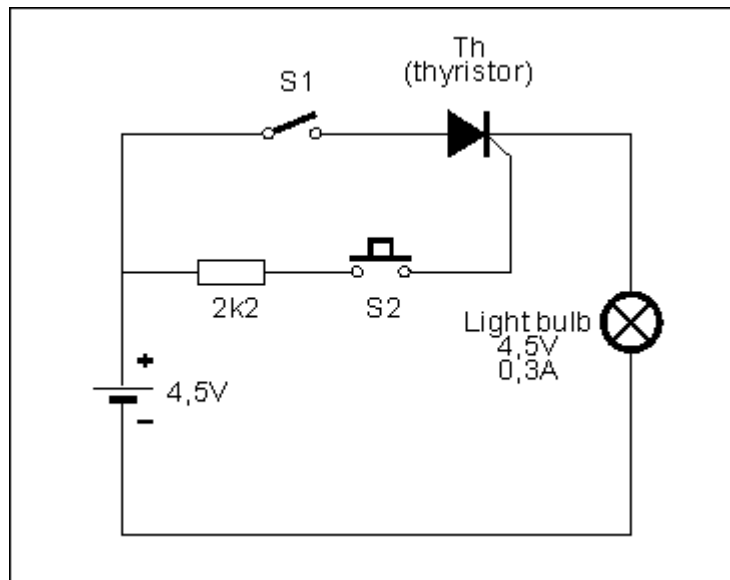
Tyristory sú širokou klasifikáciou bipolárne vodivých polovodičových súčiastok, ktoré majú štyri alebo viac striedajúcich sa vrstiev NPNP. Shockley navrhol štvorvrstvový diódový tyristor v roku 1950. Nebol realizovaný až o niekoľko rokov neskôr v spoločnosti General Electric ako Silicon – controlled – rectifier (SCR). Prepínač PNP bol hlavný projekt Bell Laboratories a viedol ho John Moll. Chceli vyrobiť solídnu náhradu za mechanické relé pre použitie v komunikácii Bell. Projekt začal v roku 1954.

Bolo jasné, že na splnenie špecifikácie pre veľkú impedanciu zariadenia by mal byť založený na kremíku a to predstavuje problémy, lebo technológia spracovania kremíka bola ešte v plienkach. Prvý kremíkový tranzistor bol ohlásený v Texas Instruments v roku 1954. Nick Holonyak a Carl Frosh boli súčasťou tímu, ktorému velil Moll a pracovali difúznym dotovaním nečistôt. Morris Tanenbaum, ktorý pracoval na kremíkovom difúznom tranzistore bol tiež súčasťou tohto tímu. V priebehu tejto doby bol vynájdený spôsob maskovanie kyslíčnikom uhličitým objavený Carl Frosch. Záležitosti ako nedostatočná čistota kremíku a vzniknuté poruchy v kryštály mali byť vyriešené. Kovové tenko vrstvovú technológiu pre výrobu vyvinuli Goldey a Holonyak. V roku 1956 bola vytvorená a charakterizovaná štruktúra kremíkoveho prepínača PNP. Holonyak konštatoval, že prvé PNP prepínače boli vyrobené tri a štyri dokončené a určené pre výskumné účely. Technológia PNP bola sprístupnená v Bell licencie a najmä Shockley Laboratories, kde Shockley pracoval na takejto súčiastke dlhší čas. Bill Gutzwiller začal pracovať v General Electric v januári 1955 na úseku výroby usmerňovačov v Clyde, kde bol Ray York vedúcim. Jeho prvou úlohou bolo vyrobiť na komerčné účely päť ampérový usmerňovač. Čoskoro Gutzwiller bol menovaný do funkcie aplikačného technika vo výrobe usmerňovačov a v tejto úlohe spoznal potrebu relačného usmerňovača, pričom množstvo energie by malo byť plynulo regulovateľné. Keď Bell Laboratories publikoval svoju prácu na prepínači PNP v septembri 1956 Gordon Hall a jeho tím energetikov na Clyde uznala, že to je technológia, ktorú hľadali. Na obrázku je Bill Gutzwiller, ktorý otestoval prvý prototyp SCR. Práca bola vykonaná s rozpočtom iba 1000 dolárov, ktoré poskytol Ray York a prvé dva boli vyrobené v júli 1957. Gutzwiller si spomenul, keď mu Hall priniesol prvý prototyp SCR a požiadal ho, aby sním niečo urobil. Gutzwiller kúpil elektrickú vrtačku z miestneho železiarstva v Clyde a použil SCR pre ovládanie jej rýchlosti. Fungovalo to a bol to prvý polovodičový regulátor otáčok elektromotora. Tento projekt, vyrobiť SCR bol nízko nákladový, lebo sa vykonával vo voľnom čase. Teraz ich úspech bol zdieľaný s riaditeľom v Syrakúzach s požiadavkou, že projekt by nemal byť využívaný pre komerčné účely. General Electric prišiel na verejnosť s novým zariadením v auguste 1957 a bol to prototyp s menovitou hodnotou 300 voltov a sedem ampér a v predaji

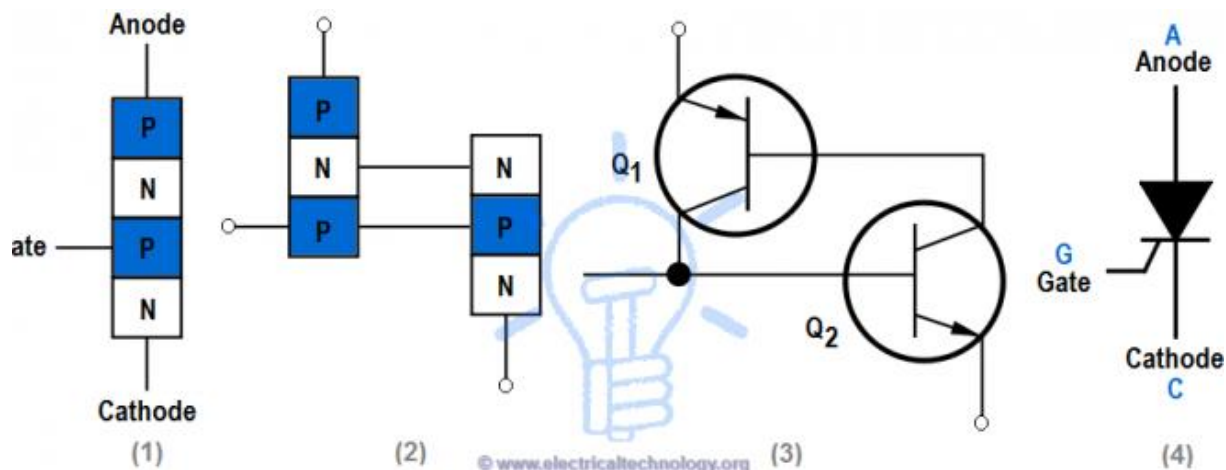


bol 60 dolárov za kus. Publikáciu s monogramom uviedol článok od Lyle Morton v januári 1958. Boli potrebné významné technológie na to, aby bol SCR úspešný. Jeho funkčnosť závisí na veľmi vysokej čistote kremíka, aby sa zabránilo rekombinácii minoritných nosičov a následnej straty vodivosti. Vysoko čistý kremík mal na starosti Dr. Hubbard Horn v zónach tavenia kremíka, ktorú sprevádzkoval v roku 1955. Na vývoji polovodičových materiálov pracovali špecialisti u Roberta Halla v laboratóriu Schenectady. John Harden v General Electric v Engineering Laboratory, a vývoj bol ukončený v roku 1957. SCR boli vyrobené z doštičiek kremíka typu – N s rozptýleným gáliom do hĺbky 0,05 mm po

oboch stranách pre vytvorenie anódy a základnej vrstvy. Doštička sa potom maskovala na oboch stranách oxidom kremičitým a leptala na umožnenie tvorby katódy difúziou fosforu do hĺbky okolo 1,1 mm. SCR sa stal obrovským úspechom pre General Electric, ktorý bol zaznamenaný v obchodnom liste „Business Week“



v decembri pod titulkom „Nový spôsob ako zmeniť striedavý prúd na jednosmerný.“ Komerčne boli SCR na trhu začiatkom roka 1958 a Gutzwiller bol zodpovedný za ich technickú a propagačnú podporu. Na obrázku je vidieť jednoduché funkčné zapojenie tyristoru pri regulácii svetla žiarovky. Reklama General Electric bežala v roku 1958 a opisovala SCR ako „revolučný nový riadený usmerňovač, ktorý nahradí relé, spínač, istič, magnetický zosilňovač a jeho použitie je obmedzené iba hodnotami s 300 voltov prevádzkového napätia a prúdovou záťažou 16 ampérov. Gutzwiller spomína, že bol zaplavený telefonátmi z rôznych priemyselných podnikov z celej krajiny i mimo Spojených štátov, so žiadosťou o podrobnejšie technické informácie. Začal som písať články pre technické časopisy s aplikáciami SCR s dostatočne podrobným popisom. Neskôr vyšla 50 stranová publikácia General Electric, ktorá bola pomenovaná ako „Manuál SCR“ a vydaná bola v roku 1960.



SCR Equivalent Circuit

Silicon Controlled Rectifier (SCR)

1. Structure of SCR

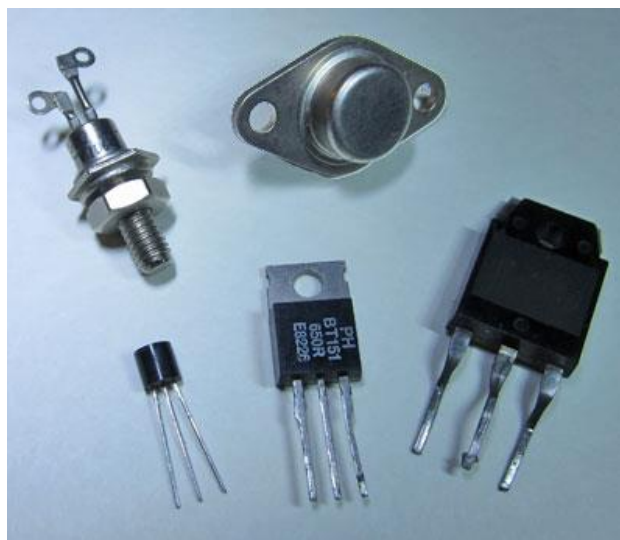
2. Symbol of SCR

3 & 4. Equivalent Circuit of SCR

The Transistor Drawn as a Circuit Diagram

SCR je kremíkový riadený usmerňovač so štyrmi vrstvami s pripojenou bránou. Keď je zapnutý, vedie prúd ako dióda pre jednu polaritu. Ak nie je spustený, tak je nevodivý. Prevádzka je vysvetlená v podobe kombinovaného tranzistorového ekvivalentu. Medzi vstupmi brány a katódy je aplikovaný kladný spúšťací signál. Základné javy prebiehajúce vo štvorvrstvovej štruktúre PNPN možno vysvetliť pomocou iného ekvivalentného obvodu vytvoreného z dvoch tranzistorov. Zosilňovací činiteľ tranzistorov Q_1 a Q_2 je málo závislý na prúde emitora. Pre náš ďalší výklad ho budeme brať v úvahu. Pri polarite napätia podľa obrázku (1) je prostredný prechod N_1P_2 v závernom stave, ale krajné prechody P_1N_1 a P_2N_2 sú v priepustnom stave. Vzhľadom k ekvivalentným tranzistorom pôsobí oblasť P_1 a N_2 ako emitory a oblasť P_2 ako kolektor a báza B_2 , oblasť N_1 ako báza B_1 a zároveň ako kolektor. Oba emitory zavedú do báz príslušných tranzistorov menšinové nosiče opačných znamienok.

Tyristor je vylepšená dióda. Okrem anódy a katódy má i pripojenie na hradlo, ktoré označujeme písmenom G (Gate) brána. Rovnakým spôsobom ako diódy vedie tyristor prúd, keď je na anóde kladné napätie voči katóde, ale iba v prípade, že napätie na hradle je kladné a prúd prúdi na hradlo (bránu), ktorý uvedie tyristor do vodivého stavu. Keď sa tyristor spustí, prúd do hradla už nie je dôležitý a tyristor je možno



vypnúť len prerušením prúdu medzi anódou a katódou. Tyristory sú často označované ako SCR (Silicon – Controlled – Rectifier). V tabuľke sú niektoré typy tyristorov vyrobených v Tesla Piešťany.

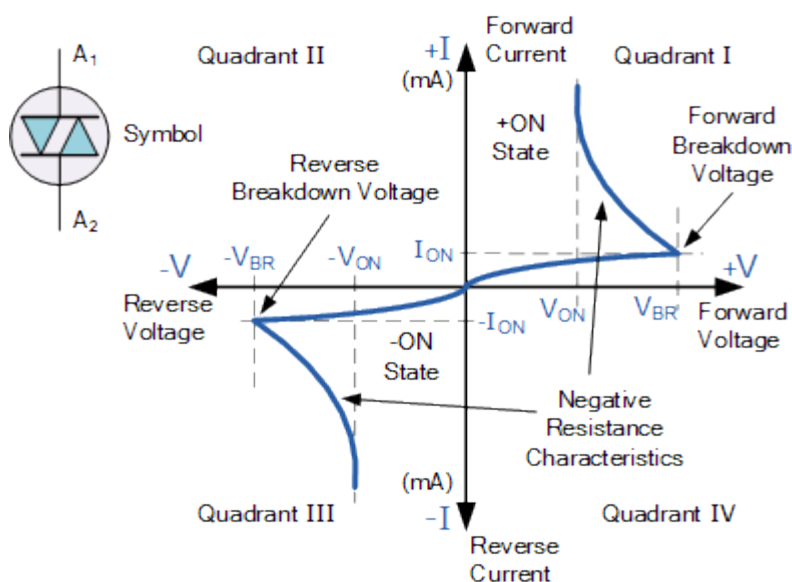
typ	Itav A	Itsm A	Ifg mA	Ufd V	Ur V	Ubo V
KT501	1	15	100	50	50	60
KT508	0,8	15	100	50	50	60
KT710	3	40	200	50	50	60
KT701	15	120	2000	50	50	60
KT708	15	120	2000	700	700	800
KT726	6	60	1000	200	200	

Triak

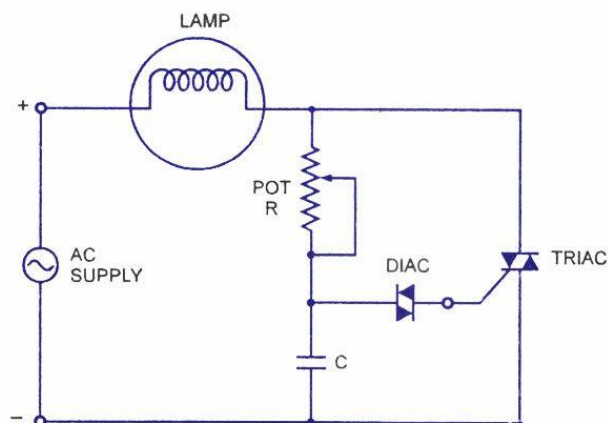
SCR riadi iba polovicu vlny v usmerňovači. Pre získanie úplného usmernenia by bolo potrebné zapojiť dva tyristory. Na obrázku je charakteristika diaku.

Toto zariadenie vzniklo koncom 50. rokov pod názvom „triak“. Holonyak

spomína, že na jar v roku 1958 na zasadnutí v Syrakúzach s Rayom York, Richard Aldrich a Finis Gentry boli požiadaní, aby vypracovali celo vlnový riadený prepínač, ktorý by mohol pracovať aj pri nižšom napätí. Po schôdzke Holonyak a Aldrich tom zostali a vymysleli riešenie. Ich prototyp bol z plátka kremíka typu – N a v jenom kroku výroby s použitím difúzie gália a fosforu súčasne. Plátok typu – N sa oxidoval a potom selektívne leptal. Difúziou gália vzniklo maskovanie vytvárajúce vrstvu typu – P. Tam, kde nie je maskovanie, tam je vrstva NP vytvorená vzhľadom k pomalšej rýchlosti difúzie fosforu, čo vedie k povrchu oblasti typu – N cez hrubšie oblasti typu – P. Po leptaní a maskovaní boli priradené povrchové prechody nazývané ako „skrátenej emitor“, známy pod označením „diak“.



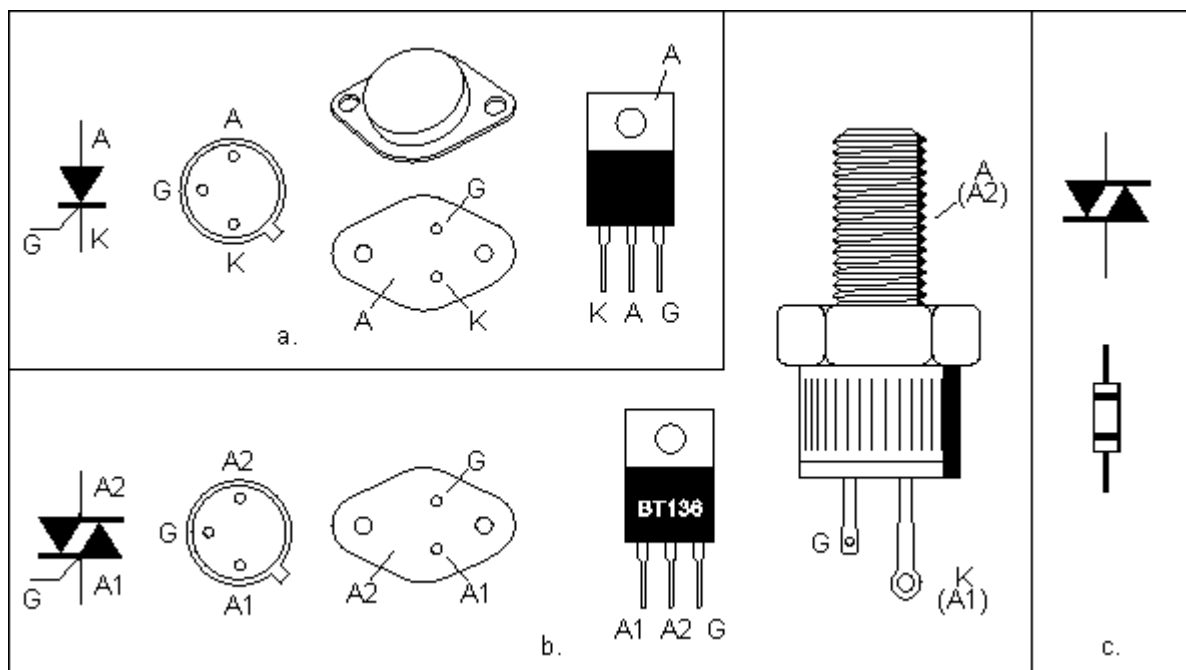
V tomto prípade bol General Electric nerozhodný a počas ďalších 18 mesiacov podala patent na podobné zariadenie spoločnosť Fairchild, na ktorom pracoval Robert Noyce. Aldrich a Holonyak vyvinuli a popísali niekoľko obojsmerných PNPN zariadení, ktoré majú dve, tri a viac vývodov. V zapojeniach s triakom sa v obvode používal aj



Triac Lamp Dimmer Circuit

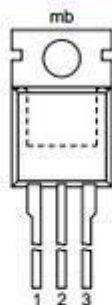
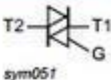
diak, ktorý zlepšuje charakteristiku usmerňujúcich zariadení. Diak bol komerčne zavedený s triakom ako spúšťač pre SCR. Na obrázku je aplikácia v zapojení pri regulácii intenzity svetla žiarovky. V tomto základnom zapojení s premenlivým odporom, ktorý určuje dobu nabitia kondenzátora a tým aj dobu polovice cyklu, ktorá je potrebná na dosiahnutie otvorenia cez napätie diaku a následné otvorenie triaku. Vzhľadom k tomu, že obe súčiastky sú obojsmerné k tomuto javu dôjde pri každej polovine cyklu so spínacím napätím 32 voltov a prúdom do 2 A s opakovanou frekvenciou 120 Hz.

Triak je obojsmerný a zodpovedá dvom tyristorom



zapojených anti – paralelne s pripojenými bránami. Triak bol vynájdený Gutzwiller.

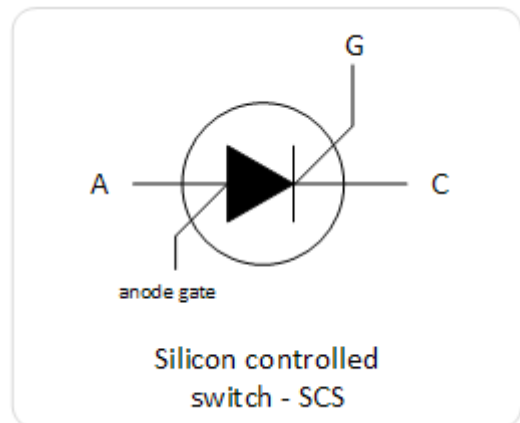
Vo svojej patentovej prihláške Gutzwiller poukazuje na to, že jeho koncepčné zariadenie možno rozdeliť na dve rovnaké časti zvislou čiarou. Ľavá strana je konvenčné SCR a pravá strana je doplnková vzdialená brána SCR. Prvé komerčné triaky boli ponúkané pod označením SC40 a SC45 s hodnotou prúdového zaťaženia 6 a 10 ampérov. Gutzwiller pripomína, že prvými väčšími odberateľmi triakov boli výrobcovia divadelných osvetľovacích zariadení, výrobcovia elektrických regulátorov a domácnosti na stlmenie žiaroviek.

	Symbol	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	T1	main terminal 1	 <p>TO-220AB (SOT78)</p>	 <p>sym051</p>
2	T2	main terminal 2		
3	G	gate		
mb	T2	mounting base; main terminal 2		

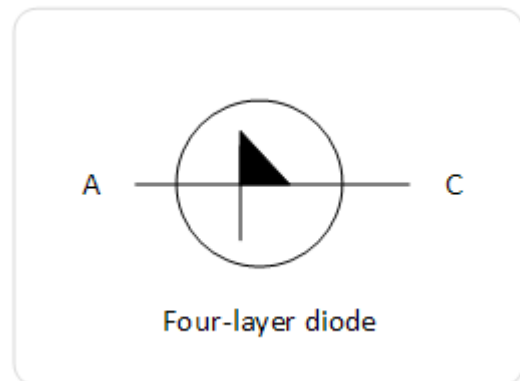


Na obrázku je triak BTA312 – 800C na napätie 800 voltov s prúdovým zaťažením 12 ampérov. Triak je podobný tyristoru, s tým rozdielom, že vedie prúd v oboch smeroch. Má tri elektródy, ktoré nazývame ako anóda A1 a anóda A2 a brána G (Gate). Používa sa na reguláciu striedavých prúdov.

Silicon Controlled Switch (SCS) je podobný ako SCR, ale môže byť vypnutý použitím kladného impulzu na anódovú bránu. SCS sa môže tiež zapnúť použitím záporného impulzu na anódovej bráne. Prúd tečie iba z anódy na katódu. SCS sa používa v ovládačoch svetiel, logických obvodoch a pod. Na obrázku je vidieť schematickú značku tejto polovodičovej súčiastky.



Štvorvrstvová dióda má dve elektródy a funguje ako spínač citlivý na napätie. Keď medzi dvoma elektródami dosiahne hodnota vypínacie napätie, zapne sa, lebo inak nevedie elektrický prúd. Prúd tečie z anódy na katódu. Diak je podobný štvorvrstvovej dióde, ale môže viesť prúd v oboch smeroch, čo znamená, že môže byť v kontakte so striedavým i jednosmerným prúdom.



Výroba viacvrstvových súčiastok v Československu bola sústredená v závode Tesla Piešťany. Po založení začala najskôr vyrábať elektrónky v 12 provizórnych vzájomne od seba odlúčených prevádzkach. Prvou z nich bola budova na námestí SNP, dnešná SPŠE. V roku 1961 sa v nich vyrobilo vyše 100 000 špeciálnych elektrónok a do konca III. päťročnice sa ich výroba zvýšila takmer päťdesiatnásobne. Vtedajšiemu vedeniu sa podarilo vybudovať nový moderný závod na Vrbovskej ceste. Zámer vybudovania tohto závodu bol schválený v roku 1963 a o rok neskôr bola zahájená výstavba. V roku 1967 sa začalo v podniku na 200m² s výrobou diód. O pár rokov neskôr sa na počesť 25 výročia SNP 23. augusta 1969 konalo slávnostné otvorenie nového objektu o rozlohe 20 000 m². V Tesla Piešťany našlo zamestnanie 1150 zamestnancov z čoho bolo 62 % žien. Pracovné prostredie muselo byť klimatizované s reguláciou teploty, vlhkosti a bezprašnosti. Dievčatá a ženy sa uplatnili najmä na montážnych linkách pri montáži diód a tranzistorov a neskôr aj IO. V roku 1964 sa v Tesla Piešťany zriadilo vlastné vedecko – výskumné pracovisko, v ktorom začali vyrábať tyristory a tranzistory. Neustály rozvoj podniku mal za následok vybudovanie novej technologickej linky na výrobu 60 kremíkových ingotov o priemere 100 mm. Kremík sa už od začiatku výroby stal základnou zložkou, bez ktorej by celá výroba polovodičových súčiastok nemohla

uskutočniť. Pred samotnou výrobou je potrebné kremík mechanicky spracovať a skontrolovať dôkladne jeho parametre. Aby sa dosiahla konečná hrúbka dosiek, musí sa zbrúsiť. Epitaxnú vrstvu kremíka dosiahneme len pri vysokej teplote, rozkladom tetrachloridu kremíka vo vodíkovej atmosfére. Ďalšou operáciou je difúzia. Difúzia potrebných prímiesí do kremíka prebieha po povrchovej úprave kremíkových dosiek. Po nej nasleduje iónová implantácia. Táto sa uplatňuje pri výrobe náročnejších prvkov a IO. Spočiatku v Tesla Piešťany začali s výrobou IO s hustotou prvkov od 10 do 100 a až po roku 1978 začali vyrábať IO s hustotou viac ako tisíc prvkov na jednom čipe. V roku 1965 stúpol rozvoj výroby a tým aj potreba zvýšiť počet zamestnancov z 1150 na 3413. Diódy sa vyrábali až do prúdového zaťaženia 25 A, tranzistory unipolárne MOS FET a IO malej a strednej integrácie. Vyrábali sa tu školské počítače, osobné počítače i jednočipový mikropočítač MHB 8048.

Referencie

- (1) Brittain, JE „Elektrotechnická sieň slávy, John A. Fleming“, Proceedings of the IEEE 95, 313 – 315.
- (2) Fleming John Ambrose (FLMN877JA). A Cambridge Alumni Database. University of Cambridge.
- (3) Fleming Valve patent U.S. Patent 803 684.
- (4) Fleming Ambrose 1931. Some memories of Professors James Clerk Maxwell, pp 116 – 124, in James Clerk Maxwell. A Commemorative Volume, 183 – 1931, New York. Macmillan.
- (5) Review „The Principles of Electric Wave Telegraphy by J. A. Fleming“ The Athenaeum (4196): 386 – 387. March 28. 1908.
- (6) Bose J. C. „Detektor pre elektrické poruchy“. US patent 755 840 z 30.9.1901 predložený, 29. 3. 1904 vydaný.
- (7) Pickard G. W. „Prostriedky na prijímanie inteligentnej komunikácie elektrickými vlnami“, US patent 836 531 predložený 20. 8. 1906, a vydaný 20. 11. 1906.
- (8) Dunwoody H. HC. „Bezdrôtový telegrafný systém“, US patent 837 616 predložený 23. 3. 1906 a vydaný 4. 12. 1922.
- (9) Losev Oleg „Detektor – generátor – zosilňovač“, Telegrafia, Telefónia zv. 14 str. 374 – 386 z roku 1922.
- (10) Douglas Alan „Kryštálový detektor“ IEEE Spectrum. apríl 1981 str. 64 – 67.

- (11) Wakai N. „Dawn in Radio Technology in Japan“, Konferencia 100 rokov rozhlasu , 5 až 7 septembra 1995 str. 51 – 56.
- (12) Faraday M. „Experimentálne výskumy v oblasti elektrickej energie“, zväzok 1, Londýn Richard a John Edward Taylor z 1839 s. 122 – 124.
- (13) Hirshfeld Alan W. „Elektrický život Faradaya“, Walker & Company 7. marec 2006.
- (14) Friedel Robert D. Lines and wave: Faraday, Maxwell a 150 rokov elektromagnetizmu. Ústav elektrotechniky a elektroniky 1981.
- (15) Braun F. „Über die Stromleitung durch Schwefelmetallic“, Analen der Physik und Chamische zv. 153, č. 4, str. 556 – 563 z roku 1874.
- (16) Braun Karl Ferdinand „Elektrické kmity a bezdrôtová telegrafia“, z 11. 12. 1909.
- (17) Kurylo Fridrich, Ferdinand Braun : „Život nositeľa Nobelovej ceny a vynálezca katódového trubicového osciloskopu“, Cambridge MA : The MIT Press z roku 1981.
- (18) Riordan M. & Holddenson L. Crystal Fire: Zrodenie informačného veku. New York W. W. Norton str. 20 z roku 1997.
- (19) Wilson A. H. „Teória elektronických polovodičov“, Zbierka Kráľovskej spoločnosti v Londýne Séria A, zv. 133, č. 822 z 1. 10. 1931 str. 458 – 491.
- (20) Davydov B. „O základe prúdu na hranici medzi dvoma polovodičmi“, doklady Acad. Sci. URSS zv. 20 z roku 1938 str. 279 – 282, „Oprava činnosti polovodičov“ Tech Phys USSR zv. 5 z roku 1938 str. 87 – 95.
- (21) Mott N. F. „Poznámka ku kontaktu medzi kovom a izolátorom alebo polovodičom“, Proceedings of Cambridge Philosophical Society zv. 34 z roku 1938 str. 568 – 572.
- (22) Schottky W. „Halbleitertheorie der Sperrschicht“, Naturwissenschaften zv. 26 z roku 1938 str. 843, Abstrakt „Teória polovodičov blokujúcej vrstvy“ Sze SM Semiconductor Devices : Pioneering Papers World Scientific Publishing Co. 1991 str. 381.
- (23) Lilienfeld J. E. „Metóda a zariadenie na reguláciu elektrických prúdov“ US patent č. 1745 175 predložený 8. 10. 1926 a vydaný 18. 1. 1930.

- (24) Heil O. „Zlepšenie alebo vzťah k elektrickým zosilňovačom a inými riadiacimi zariadeniami“, britský patent č. 439 457 predložený 5. 3. 1935 a vydaný 6. 12. 1935.
- (25) Hilsch H. R. a Pohl „Riadenie elektrónov prúdu s troma elektródami kryštálu ako model blokujúci vrstvy“. R. W. Zeitz, für Physik III. z roku 1938 str. 399 – 408.
- (26) Shockley William „Cesta ku koncepcii tranzistorového spojenia“ IEEE Transaction on Electron Devices zv. 23, č. 7 z júla 1976 str. 597 – 605.
- (27) Ohl R. S. „Light – Sensitive Electric Device“, US patent 2402662, predložený 27. 5. 1941 a vydaný 25. 6. 1946.
- (28) Shaff J. H. & Ohl R. S. „Vývoj usmerňovačov z kremíkových kryštálov pre mikrovlnné radarové prijímače“, Bell System Technical Journal, zv. 26 z roku 1947.
- (29) Brattain Walter, záznamník Bell Labs, december 1947 str. 7 – 8 a str. 24.
- (30) John Bardeen and Walter Brattain „Transistor Semiconductor Triode“ Physical Review 74, 15. 7. 1948 str. 230 – 231.
- (31) Bardeen J., Brattain W. „Trielektródový obvodový prvok využívajúci polovodičové materiály“, US patent 2 524 035 predložený 17. 6. 1948 a vydaný 3. 10. 1950.
- (32) Becker J. A. and Shive J. N. „Transistor – New Semiconductor Amplifier“, Electrical Engineering vol 68, marec 1949 str. 215 – 221.
- (33) Augarten Stan. „Zrodenie modernej elektroniky“, New Haven & New York, Ticknor and Fields 1981 str. 2.
- (34) Pfann William G., Bell Labs Notebook z 24. 10. 1950 a z 30. 10. 1950 str. 147 – 148, a str. 151 – 152.
- (35) Theurer Henry C. „Spôsob spracovania polovodičových materiálov“ US patent 3 060 123 predložený 17. 12. 1952 a vydaný 23. 10. 1962.
- (36) Keck Paul H & Golay Marcel JE, „Kryštalizácia kremíka z plávajúcej tekutiny“, Physical Review zv. 89, 6. vydanie marec 1953 str. 1297.
- (37) Emeis R. „Tiegefrees Ziehen Von Silicium – Einkristallen“, Zeitschrift für Naturforschung 9a z roku 1954 str. 67.
- (38) Feigelson Robert S. 50 rokov pokroku v kryštálovom raste: Elsevier 2004.

- (39) Bell Telephone Laboratories Inc. pre spoločnosť Western Electric Co. Inc., New York 1951.
- (40) Morton Jack A. „Od výskumu k technológii“. Medzinárodná veda a technológia máj 1964 str. 82 – 92.
- (41) Misa Thomas J. „Vojenské potreby, obchodné skúsenosti a vývoj tranzistora 1948 – 1958“, Merritt Roe Smith ed. Vojenský podnik a technológie zmena (MIT Press, 1985) str. 253 – 287.
- (42) Regency Radio: „Prvé svetovo vyrobené tranzistorové rádio“, New York Times z 21. 11. 1954 str. 77.
- (43) „Prvé vreckové rádio na svete“ časopis Holiday, reklama z júna 1955 str. 123.
- (44) Bello Francis „Rok tranzistora“, Fortune marec 1953 str. 128 – 133.
- (45) Morita Akio & Reingold Edwin M. & Shimomura Mitsuko, „Vyrobené v Japonsku : Akio Morita & Sony. ER. Dutton z roku 1986 str. 63 – 92.
- (46) Felker Jean H. „Regenerative Transistor Amplifier“, US patent č. 2 670 445, predložený 6. 11. 1951 a vydaný 23. 2. 1954.
- (47) Felker J. H. „Regeneračný zosilňovač pre digitálne počítačové aplikácie“, zberka Inštitútu rádiových inžinierov z novembra 1952 str. 1584 – 1596.
- (48) Harris J. R. „Transistor Shift Register and Serial Adder“, zborník Inštitútu rádiových inžinierov november 1952 str. 1597 – 1602.
- (49) Tanenbaum Morris Bell Labs Notebook č. 25 505 str. 30 z 26. 1. 1954.
- (50) Janes Morton, Texas Instruments Engineering Notebook č. 9614 zo 6. mája 1954 str. 46
- (51) Teal G. K. „Niektoré nedávne vývojové trendy v materiáloch a zariadeniach z kremíka a germánia“ prezentované na konferencii v Dayton , Ohio 10. 5. 1954.
- (52) Adcock W. A., Jones M. E., Thornhill J. W. and Jackson E. D. „Silicon transistor“, Proceedings of the IRE. vol. 42 z júla 1954 str. 1192.
- (53) Tanenbaum Morris a kol. „Silicon Junction Transistor“, časopis Journal of Applied Physics, zv. 26, č. 9 jún 1955 str. 686 – 692.
- (54) Fuller C. S. „Difúzia donorov a akceptorov do germánia“, Physical Review vol. 86 z roku 1952 str. 23 – 34.

- (55) Chapin D. S., Fuller C. S., Pearson G. L., „Nová kremíková PN jadrová fotobunka pre konverziu slnečného žiarenia na elektrickú energiu“. Journal of Applied Physics, vol. 25 z mája 1954 str. 676 – 677.
- (56) Tanenbaum M. and Thomas D. E. „Difúzne žiariče a základné kremíkové tranzistory“, Bell System Technical Journal zv. 35 z januára 1956 str. 1 – 22.
- (57) Biondi F. J. and Bridgers H. E., rds. Transistor Technology zv. III. (D. Van Nostrand 1958).
- (58) Derick Lincol & Frosh Carl J. „Oxidácia polovodičových povrchov pre riadenú difúziu“, US patent 2 802 760 predložený 2. 12. 1956 a vydaný 13. 8. 1957.
- (59) Frosch C. J & Deric L. „Povrchová ochrana a selektívne maskovanie počas difúzie v kremíku“, Journal of the Electrochemical Society, zv. 104 č. 9 zo septembra 1957 str. 547 – 552.
- (60) Michael Riordan and Lillian Hodderson, Crystal Fire: Zrodenie informačného veku New York W. W. Norton 1997 str. 220 – 223.
- (61) Nick Holonyak Jr. „Začiatky technológie difúzneho kremíka v lab. Bell 1954 – 1955, Interface zo septembra 2007.
- (62) Andrus Jules „Výroba polovodičových zariadení“, US patent č. 3 122 817 podaný 15. 8. 1957 a vydaný 3. 3. 1964.
- (63) Andrus J and Bond W. L. „Photoengraving in Transistor Fabrication“, F. J. Bond a kol. Eds., Transistor technology, zv. III. Princetone H. J., D. Van Nostrand z roku 1958 str. 151 – 162.
- (64) Lathrop Jay W. and Nall James R. „Semiconductor Construction“, US patent č. 2 890 395 podaný 31. 10. 1957 a vydaný 9. 6. 1959.
- (65) Nall J. R. and Lathrop J. W. „Photolithographic Fabrication Techniques for Transistors, ktoré sú integrálnou súčasťou tlače“, IEEE Transactions on Electron Devices zv. 5, č. 2 z apríla 1958 str. 117.
- (66) Shockley William „Memorandums, Golden West Theme Book“, Shockley dokument, prístupné listy 95 – 153, Box 2B, Department of Special Collections, Stanford University Library.
- (67) Sah C. T., Noyce R. N., Shockley W., „Generovanie a rekombinácia nosičov v PN junction a PN spojovacích charakteristikách“, zbier. IRE zv. 45, č. 9, september 1957 str. 1228 – 1243.

- (68) Sah C. T., Sello H., Tremere D. A. „Difúzia fosforu v oxide kremíka vo filme“, Journal Physis Chem. Solids rol. 11 z roku 1959 str. 288.
- (69) Tanenbaum M. and Thomas D. E. „Difúzne žiariče a základné kremíkové tranzistory“, Bell System Technical Journal zv. 35, č. 1, január 1956 str. 1 – 15.
- (70) Aschner J. F., Bittmann C. A., Hare W. F., and Kleimack J. J., „Dvojitý difúzny kremíkový vysokofrekvenčný spínací tranzistor vyrobený technikami maskovania oxidom“, Journal of the Electrochemical Society, zv. 106, vydaný 5. 5. 1959 str. 415 – 417.
- (71) Moore G. M., Noyce Robert N. „Metóda na výrobu tranzistorov“, US patent 3 108 359, predložený 30. 6. 1959 a vydaný 29. 10. 1963.
- (72) Moore G. M. „Úloha Fairchild v Silicon Technology“, zbr. IEEE, zv 86 č.1, január 1998 str. 53 – 62.
- (73) Riordan Michael „Z laboratórií Bell do Silicon Valley: Sága prenosu polovodičovej technológie 1955 – 1961“, „The Electrochemical Society INTERFACE jeseň 2007 str. 31 – 36.
- (74) Hoerni J. A., „Method of Manufacturing Semiconductor Devices“ US patent 3 025 589 predložený 1. 5. 1959 a vydaný 20. 3. 1962.
- (75) Hoerni J. A., „Planárne kremíkové diódy a tranzistory“, prezentované Electron Devices v roku 1960, Washington DC., október 1960.
- (76) Lécuyer Christophe, Tvorba Silicon Valley: Inovácia a rast vysokých techník 1930 – 1970, (Cambridge, MA The MIT Pres, 2006) str. 150 – 154.
- (77) Moore G. M., „Úloha Fairchild v kremíkovej technológii“, zbierka IEEE, zv. 86, č. 1, január 1998 str. 53 – 62.
- (78) Selikson B, Longo T. A., „Štúdia o purpurovom moru a jej úloha v integrovaných obvodoch“, zvor. IEEE, zv. 52, 12 vydanie z decembra 1964 str. 1638 – 1641.
- (79) Jean A. Hoerni držiteľ ceny W. Wallacea McDowella z roku 1972.
- (80) Brock David C., (2006), Pochopenie Moorovho zákona, štyri desaťročia inovácií. Pittsford New York: Castle Rock, p 15, ISBN 0941901416.
- (81) Hoerni J. A., „Spôsoby výroby polovodičových súčiastok“, US patent 3 064 167 podaný 1. 5. 1959.

- (82) Hoerni J. A., „Polovodičové zariadenia“, US patent podaný 15. 5. 1960.
- (83) Jean Hoerni US inžinier: Encyclopedia Britannica on – line.
- (84) Michael Riordan (december 2007) most z tranzistora so integrovaných obvodov. IEEE Spectrum , získané 27. 11. 2012.
- (85) Adam C. 2011, The First Germanium Semiconductors: CFS Westinghouse Westectal Diodes and the Westrel Transistron.
- (86) CIA Report 1949 Vacuum Tube Development at the Oberspreewerke and its Significance to Soviet Electronics Developments NND 96 1020 – 183.
- (87) Herold 1953, Herold's German Visit's Tubes and Semiconductors 1953, RCA Technical Report PEM 373.
- (88) Herzog R. 2001, The Early History of Transistors in Germani at the Semiconductor Museum.
- (89) Johnson H. 1954, Telefunken Transtors 1954 RCA Technical Report PEM 502.
- (90) Mataro H. 1951, Empfangsprobleme im Ultrahochfrequenzgebiet Oldenbourg, München 1951.
- (91) Malsch J. 1955, Transistoren und ihre Fertigung ETZ Elektrotechnische Zeitschrift 21. august 1955.
- (92) Shockley William, Laboratory Bell Labs č. 20 455 január 1948 str. 128 – 132.
- (93) Shockley W. „Circuit Element Using Semiconductive Material“, US patent 2 569 347 predložený 26. júna 1948 a vydaný 25. septembra 1951.
- (94) Shockley W., „Theory of PN Junctions in Semiconductor and PN Junction Transistors“. Bell System Technical Journal vol., 28, č. 3, júl 1949 str. 435 – 489.
- (95) Shockley W., Elektróny a otvory v polovodičoch s aplikáciami na tranzistorovú elektroniku. New York Van Nostrand 1950.
- (96) Shockley W., „Tranzistorová technológia evokuje novú fyziku“, IEEE Transaction on Electron Devices, zv. ED – 23, č. 7, júl 1976, str. 597 – 620.
- (97) Atten M. 1996 La Constructiones du CNET (1940 – 1965) str. 43 – 71.
- (98) Baver M. 1997 Technology & Engineering Cambridge University Press.

- (99) Berbard M. 1996 Le CNET et les Conducteurs, du debut des Ammeées 1950 au milieu des annpes 1960 réseaux, Année 1996 numero 1.
- (100) Botelho z roku 1994, Priemyselna politika, ktorá nikdy nebola vo Francúzsku 1945 – 1966. History and Technology 11, str. 165 – 180.
- (101) CNRS 1987, Archives orales du CNRS Intervetion de Pierre Aigrain á l'Université de Paris 1, le 27 avril 1987.
- (102) DummerG. W. A 1964, Integrovaný rozvoj elektroniky vo Veľkej Británii a Západnej Európe. Proc. IEEE 52, č. 12, str. 1412 – 1425.
- (103) Witold Rosinski, „Experimentálne hrotové tranzistory z oddelenia elektroniky“, IPPT PAN Przegląd Telekomunikacyjny 7 / 1955.
- (104) História poľskej elektrickej energie TOM III., Elektronika a telekomunikácia. Wyd. NT Waršava 1974.
- (105) Oskar Heil , „Zlepšenie alebo súvisiace s elektrickými zosilňovačmi a inými ovládacími zariadeniami“, vydané v Nemecku 2.marca 1934.
- (106) Robert G. Arns, „Druhý tranzistor rannej histórie kov – polovodič tranzistor riadený polom“, Engineering Science and institution Journal, október 1998.
- (107) A. Arsenjewa – Heil a O. Heil, „Eine neue Methode zur Erzeugung kurzer, ungedämpfter, elektro magnetischer Wellen großer Intensität, Zeitschrift für Physik, zv. 95, č. 11 – 12, november 1935 str. 752 – 762.
- (108) Bello Francis, „ Rok tranzistora“ Fortune, marec 1953 str. 128 – 133.
- (109) Braun Ernest a Macdonald Stuart, „Revolúcia v miniatúre, história a vplyv polovodičovej elektroniky“, (Cambridge University Press, 1982, str. 55 – 56).
- (110) Morita Akio and Reingold Edwin and Shimomura Mitsuko, „Akio Morita and Sony“, EP Dutton z roku 1986 str. 63 – 92.
- (111) Riordan Michael and Hodderson Lillian, „Crystal Fire, Zrodenie informačného veku“ New York W. W. Norton z roku 1997 str. 209 – 217.
- (112) Calvert James (15. 2. 2002) „Varactors“ Home Page D. Tuttle.
- (113) Barnes Sanford H. & John E. Mann, „Voltage Sensitive Semiconductor Capacitor“, publikovaný 23. 5. 1958 a neskoršie vydaný 20. 6. 1961 Pacific Semiconductors Inc.
- (114) Zener Clarence M. „Elasticita a ne elasticita kovov“ , 1948 Chicago Press.

- (115) Wert Charles Alten, február 1994, „Nekrolog Clarence Zener“, Fyzika dnes 47 (2) str. 117 – 118 Bibcode 1994 PhT.
- (116) Seitz Frederick 1986, „Pri príležitosti osláv 80. narodenín Clarence Zenera“, sobota 12. 11. 1985, Journal of Applied Physics zv. 60 (6), str. 1865 – 1867.
- (117) Joel N. Shurkin, 8. 1. 2008, „Zlomený génius: Vzostup a pád Williama Shockley, tvorcu elektronického veku“, Palgrave Macmillan str. 116.
- (118) J. E. Lilienfeld 1919, „Die sichtbare Strahlung des Brennecks von Röntgenröhren“, Physikalische Zeitschrift 20, str. 280.
- (119) Boersch Hans, Radeloff C, Saverbrey G., (1961) „Über die Metallen durch Elektronen ausgelöste sichtbare und ultraviolette Strahlung.“ Zeitschrift für Physik A 165, str. 464 – 484.
- (120) Cornelison B., Adcock W. „Tranzistory podľa rozvinutej difúznej techniky“ Proc. 1957 IRE WESCON Convention Record Part 3, str. 22 – 27.
- (121) Goldstein A., 1984 „Hľadanie najlepšieho materiálu: Gordon Teal ako vynálezca a manažér“, in Sparks of Genius: Portraits of Electrical Engineering Excellence, ed F. Nebeker, IEEE Press 1984.
- (122) Knight J., 2007 Texas Instruments v rokoch 1950 až 1960. Výkonové germániové tranzistory.
- (123) Pirtle C. 2005 Engineering the World. „Príbehy z prvých 75 rokov Texas Instruments“, Incorporated 1 ed 2005.
- (124) Texas Instruments 1954 „Tlačová správa 10. 5. 1954, nový tranzistor bude aj naďalej zmenšovať elektronický „mozog“.
- (125) Wallace R., Schmipf L., Dickten E., 1952 „Plošná tranzistorová tetroda pre vysokofrekvenčné použitie“, Proc. IRE 40 str. 1395 – 1400.
- (126) Bardeen J., Pfann W., 1950 „Účinky elektrického tvarovania a úprava bariéry PN prechodu u tranzistorov z germánia.“ Physis Review 77, str. 401 – 402.
- (127) Cohen R. 1953 „Dôležité informácie týkajúce sa RCA komerčných tranzistorov.“ Proc. IRE – RTMA Toronto, októbrové zasadnutie z roku 1953, str. 32 – 46.
- (128) Heyer M., Pinsky 1975, „Dr. Charles W. Mueller, elektroinžinier, rozhovor o histórii z roku 1975, Mark Heyer, Al Pinsky, IEEE History center, University Rutgers, New Brubswick, HJ.

- (129) Nelson H. 1954, „Kremíkové NPN zliatinové tranzistory RCA 1956, str. 172 – 181.
- (130) Slabe B., 1952 „Kontrolné frekvenčné charakteristiky a stabilita Point – Contact Transistors.“ Proc. IRE 40, str. 1352 – 1384.
- (131) Finnegan F. 1955, „Junction Diodes – vlastnosti a aplikácie.“ IRE Trans Electron Devices 2, str. 51 – 62.
- (132) Freedman G. 1956 US patent 2 916 408, výroba plošných tranzistorov, podaný 29. 3. 1956 a vydaný 8. 12. 1959.
- (133) Raytheon 1948 „Germanium Crystal triodes CK 703, Special Tubes Division, Revision one , 3. 11. 1948.
- (134) Raytheon 1952 „Germanium Transistor CK 716, Special Tubes Division Revision three, 8. 2. 1952.
- (135) Raytheon 1955 „Transistor Application Volume“, Raytheon Manufacturing Company.
- (136) Scott O. 1974 Creative Ordeal: The Story of Raytheon Atheneum, New York : 1974.
- (137) Williams J. 1953, US patent 2 862 470 , Transistor Mold Assemblies, podaný 19. 11. 1953 a vydaný 2. 12. 1958.
- (138) Adcock W., Jones M., Thornhill J., Jackson E., 1954 „Silicon transistor“, Proc. IRE 42, str. 1192.
- (139) Aldrich R., Holonyak N., 1959 US patent 3 476 993, „Päť vrstvový prechodový spínač“, podaný 8. 9. 1959 a vydaný 4. 11. 1969.
- (140) Electronics „Príprava vysoko čistého kremíka indukčným ohrevom.“ Electronics 2, 1955 str. 182.
- (141) Gutzwiller W., 1963 US patent 3 275 909 „Polovodičový spínač“, podaný 19. 12. 1963 a vydaný 27. 9. 1966.
- (142) General Electric list EKG – 78, General Electric list NPN tranzistor EKG – 74 Type 2N78, reprodukcia v Joint Electron Tube Engineering, správa rady 1470 z 31. 5. 1955.
- (143) Hall R. 1952 US patent 2 705 767, PN Junction Transistor, podaný 18. 11. 1952 a vydaný 5. 4. 1955.
- (144) Nebeker F. 1993, Nick Holonyak, elektroinžinier, ústne podaná história vykonaná v roku 1993 Frederik Nebeker, IEEE History Center, University Rutgers.
- (145) Amatérské rádio, Konštrukčná elektronika č. 3, 2010, „Konštrukcia výkonových MOS tranzistorov“, Ing. Jiří Vlček.

- (146) Tesla Eltos, Praha 1, Dlouha. Katalóg súčiastok pre rok 1983 – 1984.
- (147) H. Frank, V. Šnejdar „Princípy a vlastnosti polovodičových súčiastok“, z roku 1976.
- (148) Július Krempasky „Otázky a odpovede z polovodičov“, z roku 1977.