

## Petdesetletnica tranzistorja (II. del)

Stanislav Južnič\*

### 50th anniversary of the transistor (Part II)

#### ABSTRACT

Second part of the article describes the discovery of the field effect transistor (FET). Special concern is put on the work of Shockley and on circumstances, that enabled the "Silicon valley". We make a short view on the development of transistor in Europe and in our country and try to describe some visions of the future of the transistors.

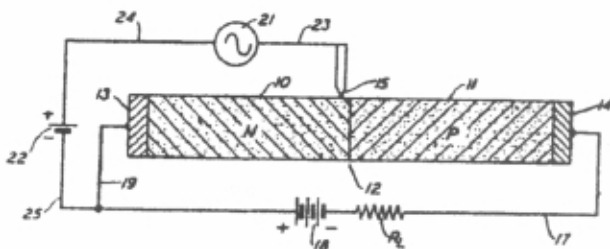
#### POVZETEK

Drugi del razprave opisuje odkritje tranzistorja na poljski efekt. Posebno pozornost posvečamo Shockleyevemu delu in okoliščinam, ki so botrovale nastanku "Silicijeve doline". Na kratko se ozremo po začetkih uporabe tranzistorjev v Evropi in pri nas ter skušamo podati nekaj vizij prihodnosti tranzistorja.

#### 1 UVOD

Shockley je bil vodja raziskovalne skupine, v kateri sta Bardeen in Brattain po vrsti poskusov odkrila tranzistor s točkastima stikoma. Odkritje je sicer temeljilo na Shockleyevi ideji, vendar pri poskusih ni bil neposredno udeležen. To ga je gotovo jezilo, zato je v naslednjih mesecih pozorneje spremljal raziskovanja svojih sodelavcev, bolj kot je v navadi v skupinah ustvarjalnih znanstvenikov. Z vsemi močmi se je vrgel v raziskovanje tranzistorja na poljski efekt, katerega inačico JFET je razvil do 23.1.1948, 38 dni za odkritjem Bardeena in Brattaina. Izum je patentiral 26.6.1948 in 24.9.1948 /1/.

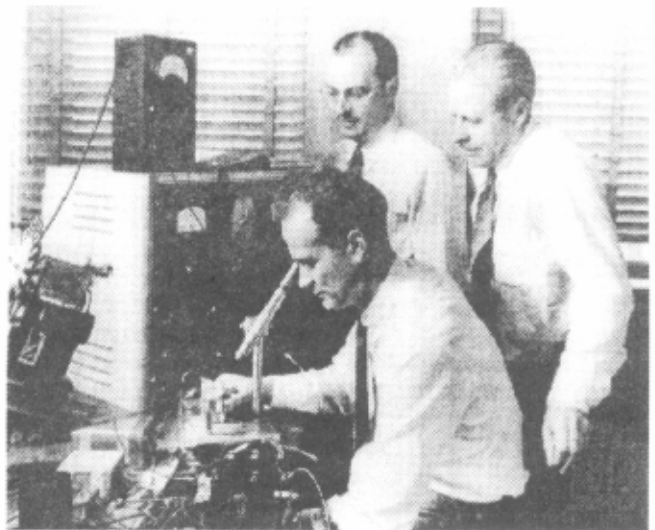
Delovanju nove Shockleyeve inačice tranzistorja je bilo lažje slediti s teorijo, njegov šum je bil manjši in je lahko uporabljal večje moči. Zato je izrinil tranzistor s točkastima stikoma, ki ga je sicer kmalu po Bell Labs v podobni obliki, vendar z različnimi mehanskimi podrobnostmi, izdelal raziskovalni laboratorij General Electrics (GE), za njim pa leta 1949 še podjetja RCA, Raytheon in Sylvania.



Slika 1: Shockleyeva skica tranzistorja iz patenta, vloženega 34.9.1948 (Proc. IEEE, 86/1 (jan. 1998) str. 34)

\* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

**William Bradford Shockley** (1910-1989) je bil rojen v Londonu v družini premožnega ameriškega rudarskega inženirja. Diplomiral je na California Institute of Technology leta 1932 in doktoriral na MIT leta 1936 pri Johnu Slaterju (1900-1976), ki je sredi dvajsetih let z Nielsom Bohrom sodeloval pri utemeljevanju kvantne mehanike. Leta 1936 je Shockley prišel v Bell Labs. Tam si je obetal sodelovanje s Clintonom Josephom Davidssonom (1881-1958), ki je naslednje leto dobil Nobelovo nagrado za fiziko za raziskovanje interferenčnega odboja elektronov na kristalu. Shockley se je med vojno ukvarjal z uporabnimi raziskavami, po vojni pa je postal predstojnik novega oddelka za raziskovanje trdne snovi. Vanjo je vključil tudi Bardeena, ki ga je spoznal že sredi tridesetih let v Cambridgeu. Leta 1955 je Shockley postal direktor skupine za razvoj orožij pri obrambnem ministrstvu ZDA in ustanovil lastno podjetje za komercializacijo tranzistorjev. Leta 1963 je postal profesor inženirstva na univerzi v Stanfordsu /2/.



Slika 2: Shockley, Brattain in Bardeen pri Bell Labs leta 1947 (Proc. IEEE, 86/1)

#### 2 FET TRANZISTORJI

Teorija tranzistorja je prinesla nov izziv fiziki. Delovanje vakuumske elektronke je bilo sredi petdesetih let že del standardnega znanja elektro inženirja, medtem ko je bilo gibanje delcev v trdnini precejšnja novost. Tudi sicer so procesi v trdnini bolj zapleteni. Lastnosti katodne elektronke so odvisne le od geometrije in zunanjih robnih pogojev, pri tranzistorju pa vplivajo tudi lastnosti trdnine. V katodni elektronki obravnavamo le gibanje elektronov v električnem polju, v polprevodniku pa imamo poleg elektronov tudi vrzeli. Zato je razumljivo, da so zgodnji raziskovalci tranzistorja sprva različno pojasnjevali dogajanje v njem.

Bardeen je uspeh poskusov z elektrolitom pripisal navzočnosti modificirane plasti polprevodnika na površini,

ki je omejevala tok elektronov. Vendar je takšna razlaga postala dvomljiva, ko so začeli izdelovati dobre tranzistorje s površino, izdelano z izravnavanjem visoke nasprotne napetosti, pod pogojem, da je bil kolektorski kontakt narejen električno.

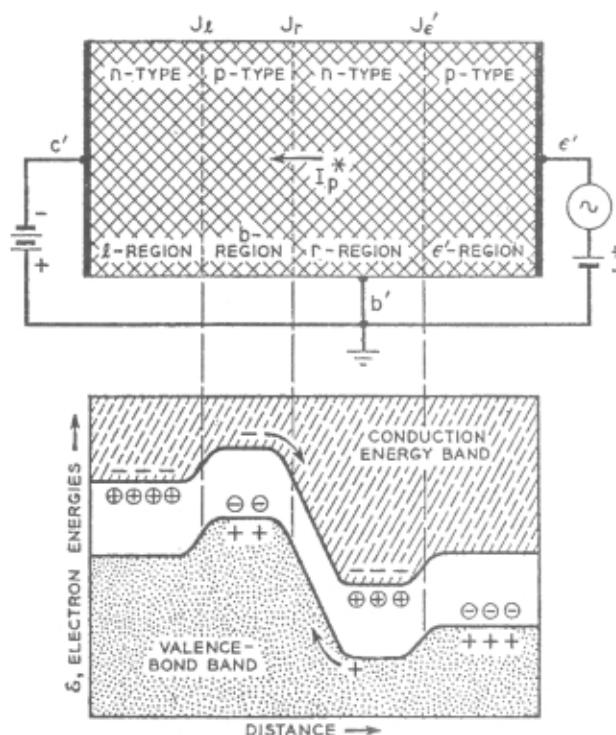
V nasprotju z Bardeenom sta Shockley (23.1.1948) in neodvisno od njega Shive /3/ domnevala, da spremenjeni površinski sloj nima važne vloge. Ojačenje tranzistorja sta imela predvsem za prostorninski in ne površinski pojav. Shive je februarja 1948 njuno domnevo dokazal s poskusom. Točki emitorja in kolektorja sta se stikali na nasprotnih straneh 0,01 mm tanke plasti Ge in na ta način povzročali tranzistorjski efekt, primerljiv z delovanjem tranzistorja Bardeena in Brattaina.

Spremenjena teorija je izražala drugačne razmere, v katerih je deloval Shockleyev tranzistor. Nasprotno od Bardeen-Brattainovega, kjer je do ojačitve prišlo v stiku med kovinskim vodnikom in Ge, je v Shockleyevem p-n-p tranzistorju ojačitev nastala v notranjosti kristala Ge. Tok je tekel predvsem zaradi difuzije, bolj kot zaradi električnega polja. Shockley je v poenostavljenem modelu predpostavil:

- (1) da so donorji in akceptorji povsem ionizirani, kar dobro velja za Ge pri sobni temperaturi
- (2) da je gostota manjšinskih nosilcev naboja veliko manjša od gostote večinskih v vsakem področju
- (3) da je skupno razmerje rekombinacije v vsakem področju linearno odvisno od nepravilnosti gostote manjšinskih nosilcev glede na njeno vrednost v termičnem ravnovesju
- (4) da prostorski naboj ni pomemben, razen v samih p-n stikih.

Obnašanje polprevodniške naprave se je Shockleyu, tako kot pol stoletja prej Braunu, zdelo podobno vakuumski elektronki. Področje emitorja naj bi ustrezalo katodi elektronke, baza področju okoli vodnikov mrežice, kolektorsko področje pa plošči. Tranzistor z ozemljenim emitorskim področjem in s signalom, obrnjenem proti bazi, je deloval kot trioda z ozemljeno katodo. Tako tranzistor kot katodno elektronko uravnavamo z interakcijo med dvema oblikama toka elektronov. V katodni elektronki napetost na mrežici določa tok elektronov od katode k anodi. V tranzistorju tok vrzeli v bazi spreminja napetost med bazo in emitorjem in uravnava tok elektronov skozi plast baze. V nasprotju z opisanim modelom pa Bardeen od vsega začetka ni priznaval analogije z vakuumsko elektronko in je prav zato vpeljal še danes uporabljane nazive emitorski, kolektorski in bazni tok /4/.

Shockleyeva raziskovalna skupina je uporabila monokristal Ge, na katerem je bila plast p-tipa vrinjena med dve področji n-tipa. Naprava je enakomerno delovala na površinah p-n stikov. Velikost njene aktivne površine se je lahko zelo spreminjala, kar ni bilo mogoče pri Bardeen-Brattainovem tranzistorju s točkastim stikom. Tako je Shockley lahko povečal izhodno moč brez povečevanja toka. Eden večjih n-p-n tranzistorjev, ki ga je predstavil na konferencah junija in julija 1950, je imel stik na površini 0,3 cm<sup>2</sup>, bazo debeline okoli 0,07 cm in je dajal 2,0 W nedeformirane moči na izhodu. Tudi pri manjših napravah s stično površino okoli 0,01 cm<sup>2</sup> so bile vse karakteristike Bardeen-Brattainovega tranzistorja s točkastima stikoma izboljšane za nekaj redov velikosti /5/.



Slika 3: p-n-p-n tranzistor iz razprave: Shockley, M. Sparks in G.K. Teal, p-n Junction Transistors, Phys. Rev. 83 (1.7.1951) str. 157

G.K. Teal in J.B. Little sta leta 1948 pri Bell Labs izdelala tehnologijo rasti velikih monokristalov Ge, v katerega notranjosti so lahko odkrivali in prepoznavali nosilce naboja, vstavljene po stiku s kovino. Aprila 1950 so Shockley, Sparks in Teal vzgojili kristal, ki je imel tanko plast p-tipa na materialu n-tipa. Šele tedaj so lahko začeli proizvodnjo tranzistorjev tipa n-p-n in p-n-p, ki so danes nepogrešljivi deli vsakega mikročipa.

### 3 PROBLEM PRIORITETE

Izum tranzistorja je bil rezultat kolektivnega dela ameriških raziskovalcev v Bell Labs. Ameriška mornarica se je sprva potegovala za prioriteto svojega raziskovalca, vendar je prizadevanja kmalu opustila. Problem prioritete je še dodatno omilila Bardeenova lastnost, da je rad priznaval še tako majhne zasluge svojih predhodnikov. Tako se je 25.6.1948 zahvaljeval Shockleyu za "...pobudo in vodenje raziskovalnega programa, ki je pripeljal do odkritja..." Decembra 1950 je "Bill" Shockley zapisal posvetilo v svoji novi knjigi: "Johnu Bardeenu, ki je naredil takšno knjigo potrebno". V predgovoru je navedel Bardeena in Brattaina kot izumitelja tranzistorja /6/.

Med Bardeenovimi in Shockleyevimi občudovalci je vendarle prišlo do razprav o prioriteti, ki še danes niso končane. Nekateri raziskovalci menijo, da je Bardeen že 17.12.1947 poznal koncept vcepljanja manjšinskih nosilcev v tranzistorju, po drugih pa naj bi ga iznašel šele Shockley več kot mesec dni pozneje /7/. Skupna raziskovalna pot Bardeena in Shockleya se je ločila, ko sta v prvi polovici petdesetih let drug za drugim zapustila Bell Labs in nadaljevala poklicno pot v tako različnih smereh kot sta raziskovanje superprevod-

nikov na univerzi in komercializacija tranzistorjev na področju zaliva San Francisco. Raziskovalca po skupni Nobelovi nagradi leta 1956 nista več sodelovala, tako da se je Bardeen avgusta 1989 celo izognil pisanju nekrologa za svojim nekdanjim predstojnikom Shockleyem /8/.

#### 4 "SILICIJEVA DOLINA" IN RAZISKOVANJE ZNANSTVENIKOV V INDUSTRIJSKIH LABORATORIJIH

Septembra 1955 je Shockley zapustil Bell Labs in se osebno lotil komercializacije svojih izumov tranzistorja. S tem je sledil Edisonovemu tri četrt stoletja starejšemu primeru proizvodnje žarnic v Menlo Parku.

Shockley je ustanovil tranzistorske laboratorije v svojem rojstnem kraju Palo Alto v Kaliforniji in jih vodil do avgusta 1963. Tako je neposredno omogočil nastanek silicijeve tranzistorske industrije na področju zaliva San Francisco, pozneje posrečeno krščene za "Silicijevo dolino". Središče razvoja je prešlo od vzhodne na zahodno obalo ZDA, od koder je bila doma tudi večina ključnih raziskovalcev tranzistorja.

Industrija, ki je rasla iz iznajdbe tranzistorja, je veliko obetala. Kot naročena je prišla računalnikom, saj so tranzistorski elementi v veliki meri rešili problem pregrevanja, počasnosti in predvsem velikosti prvih računalnikov z elektronkami, ki so jih začeli sestavljati tik pred izumom tranzistorja.

Raytheon, eno izmed 35 podjetij, ki so se seznanila s tehnologijo FET tranzistorjev na simpoziju Bell Labs aprila 1952, je marca 1953 proizvajalo že po 1000 germanijevih tranzistorjev na mesec po ceni 9 dolarjev za kos. Do leta 1957 je Raytheon kontroliral tržišče, vendar je nato zaostal v razvoju tehnologije. Sredi petdesetih let, ko so tranzistor po Shockleyevi ideji večinoma še imeli za "izboljšano elektronko", je proizvodnja tranzistorjev še vedno dajala dvajsetkrat manj dohodka od proizvodnje elektronk. Dobički obeh industrij so postali primerljivi šele v začetku šestdesetih let, ko je vlada ZDA, po uspehu ruskega Sputnika 4.9.1957, v strahu pred tehnološkim zaostajanjem začela radodarno pospeševati miniaturizacijo tranzistorjev.

Nove možnosti je sredi septembra 1957 izkoristilo tudi osem raziskovalcev različnih strok, ki so po poldrugem letu sodelovanja zapustili Shockleyevo podjetje in ustanovili Fairchild s sedežem le eno miljo proč v Palo Altu. Fizik R.Noyce, edini med njimi, ki je imel izkušnje s tranzistorji že pred raziskovanjem v Shockleyevem podjetju, je januarja 1959 pri Fairchildu samostojno izumil prvo integrirano vezje, ki ga je bilo mogoče komercialno proizvajati. S tem je kronal izum integrirane vezja, ki se je konec avgusta 1958 posrečil J.Kilbyu pri Texas Instruments.

Poseg znanstvenika Shockleya v proizvodnjo tranzistorjev je bil sad polstoletnega sožitja med akademsko šolanimi znanstveniki in industrijo v visoko razvitih zahodnih družbah. Uspešno delovanje znanstvenikov v industriji se je začelo s kemikom Charlesom Dudleyem, ki je med letoma 1875-1905 pri Pennsylvania Railroad organiziral laboratorij za testiranje materialov s tridesetimi kemiki. Posebno uspešni so bili znanstveniki pri razvoju žarnice, saj sta imela fizika Edward Nichols in

Francis R. Upton mnogo zaslug za Edisonov uspeh. Podobne naloge sta imela John Stone in George Campbell v Bell Telephone Systems, kjer je v začetku osemdesetih let v oddelku za elektriko in patente raziskoval tudi fizik Jacques, med letoma 1885-1911 Hayes, od aprila 1911 dalje pa je posebno raziskovalno vejo pri Bellu vodil Edwin Colpitts.

Tako je imel Bell ob Shockleyjevem prihodu za sabo že bogato znanstveno tradicijo. Znanstvenikov niso več najemali za posamezno raziskavo v industriji, temveč so akademsko podkovani raziskovalci postali stalni nosilci razvoja v posebnih laboratorijih. Novost se je najprej uveljavila pri kemijskem podjetju Bayer, kjer je že od leta 1884 raziskoval kemik Karl Duisberg (1861-1934). Leta 1889 so se odločili, da ga bodo vključili v nov glavni znanstveni laboratorij, ki so ga odprli avgusta 1891. Leta 1897 so pri Bayerju ustanovili tudi biro za patente. Z novostmi pri Bayerju so se začela razvijati sodobna razmerja med znanostjo in industrijo, ki so jih kmalu sprejela tudi britanska kemijska podjetja in električna industrija.

Na ameriška podjetja je posebno vplival eksperimentalni elektrokemični laboratorij, ki so ga spomladi leta 1900 ustanovili pri GE po večletnih prizadevanjih Charlesa Proteusa Steinmetza (1865-1923), ki je že od leta 1890 raziskoval v računskem oddelku GE /9/. Kljub Steinmetzovi želji pa laboratorij ni bil povsem ločen od tovarne, saj ji je moral zagotavljati prostor na tržišču.

Sprva so se v laboratoriju GE ukvarjali z razvojem živosrebrne svetilke. Pozneje je direktor laboratorija GE Willis Whitney v talilni peči izboljšal lastnosti vlaken iz oglja in tako podjetju zagotovil tržišče za nekaj let. Kljub temu je v naslednjih letih konkurenca prisilila GE, da je kupal patente pri Siemensu. Zato so od leta 1906 brez uspeha preizkušali porabo kovinskih vlaken v žarnici, dokler ni William Coolidge prekosil konkurente z uporabo volframa. GE je ponovno osvojil tržišče; leta 1913 pa je Irving Langmuir preučil temeljne značilnosti žarnic. Tako je konec devetdesetih let GE obvladoval že 96% tržišča žarnic v ZDA /10/.

#### 5 PRODOR TRANZISTORJEV V EVROPO

Anton Philips (1874-1951), mlajši sin ustanovitelja Philipsa Frederika (1830-1900), se je med obiskom v ZDA navdušil nad Langmuirjevo uspešno uporabo znanstvenih dosežkov za utrjevanje položaja podjetja na tržišču. Sklenil je slediti primeru GE. Zato so ustanovili oddelek za znanstvene raziskave Naturkundig Laboratorium (Nat. Lab.) s posebnim statusom znotraj podjetja Philips. Vodenje oddelka je v začetku leta 1914 prevzel Gilles Holst (1886-1968). Holst je končeval doktorat pri Heiku Kamerlingh-Onnesu (1853-1926) v Leydenu, ki je prav tedaj prejel Nobelovo nagrado za kondenzacijo helija. Pod Holstovim vodstvom so Philipsovi raziskovalci med obema vojnoma uspešno raziskovali uporabo polprevodnikov.

Med drugo svetovno vojno Philips ni opravljal raziskovanj, ki so v Bell Labs omogočila obvladovanje tehnologije čiščenja in dopiranja Ge in Si za uporabo v radarju. Nemška okupacija je postavila Philips tudi v izolacijo, tako da so se z ameriško tehnologijo Ge seznanili šele po vojni, ko je ob prvem obisku v ZDA van Verwey prinesel nekaj gramov Ge. Leta 1949 pa sta Ploos van Amstel in Wieringen že proizvajala polikristalinske Ge

diode z novo metodo, pri čemer sta veliko pozornosti posvečala čistosti materiala in stopnji dopiranja. Aprila 1955 so raziskave prerasle v novo tovarno, ki so jo postavili v Nijmegenu.

Koncentracija ameriških podjetij je ovirala evropski dostop do tržišča tranzistorjev. Leta 1948 je bil F.H. Stietjes pri Philipsu odgovoren za začetek raziskovanja tranzistorjev. Leta 1952 je že vodil skupino desetih raziskovalcev, ki so razvili tranzistor s točkastima stikoma in ga prenesli v razvojni laboratorij po Bellovem simpoziju aprila 1952. Med Philipsovimi evropskimi konkurenti sta se simpozija udeležila tudi nemški podjetji Telefunken in Siemens & Halske. Sodelovanje je omogočil Main Agreement iz leta 1947, ki so ga razširili 31.3.1952. Philipsov Nat.Lab. še ni obvladal tranzistor-ske tehnologije in je zato potreboval pomoč Bella in RCA, ki jih je obiskal J.C.van Vessem.

Na simpoziju so demonstrirali različne metode proizvodnje Ge kristalov, vendar so v Nijmegenu raje uporabili metodo zlitin podjetja RCA. Philipsu se je namreč mudilo, da bi pobude ne prevzela podjetja, ki pred tem niso sodelovala v proizvodnji elektronk. Med takšnimi sta bila, denimo, ameriški IBM in Geophysical Services, pozneje preimenovani v Texas Instruments, katerega vodstvo je prevzel Teal iz Bell Labs. Do konca leta 1954 je Philips obvladal novo tehnologijo, ki je vplivala na celotno podjetje. Najprej so sledili ameriškim odkritjem, nato pa so v Nat.Lab. z lastno metodo izdelali tranzistor z difuzijo v trdnini POB (Pushed Out Base), ki se je zelo dobro prodajal. Leta 1957 je že 35 raziskovalcev v Nat.Lab. in še 20 Philipsovih raziskovalcev v tujini raziskovalo polprevodnike. Philips je postal vodilno evropsko podjetje za raziskovanje polprevodnikov, vendar ga je ogrožala močna konkurenca. Ameriška podjetja so namreč ustanavljala svoje veje v Evropi, konkurenti pa so dobivali tudi mnogo vojaških naročil, ki so omogočala hiter razvoj.

Nizozemske univerze se kljub pogostemu sodelovanju s Philipsom sprva niso posebno zanimale za polprevodnike. Zato je bil Philips v zelo neugodnem položaju v primerjavi z Bell Labs. Čeprav je veliko Philipsovih strokovnjakov skupaj s samim Holstom občasno predavalo tudi na univerzi, je Philips svoje strokovnjake za polprevodnike moral usposabljal kar znotraj podjetja. Položaj se je izboljšal šele v začetku petdesetih let, posebno ko je leta 1952 G.W.Rathenau zapustil Philips in na univerzi v Amsterdamu postal prvi profesor fizike trdne snovi na Nizozemskem /11/.

Sredi devetdesetih let je Philips med evropskimi podjetji prodajal največ polprevodniških naprav, v svetovnem merilu pa je zaostajal za devetimi ameriški in japonskimi konkurenti.

## 6 PRVI TRANZISTORJI PRI NAS

Polprevodniki niso hitro prodri v manj razvite dežele, kot je bila naša. Tako A. Wedam v svoji knjigi iz leta 1955 še ni obravnaval polprevodnikov in tranzistorjev, v tri leta starejši knjigi pa jim je Adlešič že obetal lepo prihodnost /12/.

Leta 1958 je Josip Lončar (1891-1971), redni profesor Elektrotehnične fakultete v Zagrebu, objavil razpravo o polprevodnikih, v kateri je obravnaval tudi lastne poskuse /13/. S tem je odprl vrata drugim raziskoval-

cem, tako da je dipl.ing.Zdravko Bendeković iz RIZ-Tvornice polprevodnika izdelal prvi domači Si tranzistor, ko jih je v Evropi izdeloval le SGS v Milanu /14/. Kljub temu so imeli domači raziskovalci še v poznih šestdesetih letih manj izkušenj s tranzistorji kot z elektronkami. Tranzistorizirane naprave so bile dražje, tako da je integriranih vezij pri nas še primanjkovalo /15/.

## 7 PRIHODNOST TRANZISTORJEV

Raziskovanje polprevodnikov je vseskozi prepletalo različne veje naravoslovja. V obdobju prevlade katodnih elektronk so polprevodnike raziskovali predvsem metalurgi in fiziki. Po odkritju tranzistorja so postale zanimive predvsem fizikalno-kemične lastnosti uporabljanih snovi. Tedaj je cena postala prevladujoč dejavnik, tako da so fiziki in tehniki določali razvojne usmeritve z opredelitvami potrebnih lastnosti izdelka. Končno so v proizvodnji integriranih vezij prevzeli vodilno vlogo konstruktorji vezij (circuit designers). Spremembe v industriji tranzistorjev so potekale tako hitro, da jim tudi marsikateri strokovnjak ni mogel slediti.

**Gordon E. Moore** je bil rojen v San Franciscu leta 1929. Študiral je na Berkeleyu in doktoriral na California Institute of Technology leta 1954. Kmalu po ustanovitvi se je leta 1956 pridružil Shockleyevim tranzistorjskim laboratorijem. Leta 1957 je soustanovil Fairchild, kjer je leta 1959 postal direktor razvoja. Leta 1968 je soustanovil družbo Intel za razvoj in proizvodnjo LSI (Large Scale Integrated Products). Intel je začel s polprevodniškimi spomini, že sredi devetdesetih let pa je med vsemi podjetji na svetu prodajal največ polprevodniških naprav.



Slika 4: Fotografija Gordona E. Moora v Proc. IEEE 86/1 (jan. 1998) str.204

Leta 1965 je direktor raziskovanja in razvoja pri Fairchild Semiconductors, fizikalni kemik Gordon E. Moore objavil, da izdelovalci tranzistorjev podvojijo število integriranih komponent v konstantnih časovnih intervalih. Trditev velja še danes. Če bi se sedanji čas podvojitve 18 mesecev obdržal tudi v bodoče, bi leta 2020 imeli tranzistorje reda velikosti 10 nm /16/.

Po Mooru naj bi prav v sedanjem času proizvodnja tranzistorjev v čipih preseгла število tiskanih črk v knjigah. S tem naj bi nov način komunikacije začel resno nadomeščati pol tisočletja starejši Gutenbergov izum.

## LITERATURA

- /1/ Junction Field Effect Transistor (Kramer, n.d., str. 1205; Herring, n.d., str. 32).
- /2/ Herring, n.d., str. 29; Kramer, n.d., str. 1204; Trigg, n.d., str. 178; Vakuumist, 14/4 (1994) str. 23)
- /3/ John Northrup Shive (1913-1984) je opisal fototranzistor v Phys. Rev. 76 (1949) str. 575 (Shockley, M. Sparks in G.K. Teal, p-n Junction Transistors, Phys. Rev. 83 (1.7.1951) str. 152)

- /4/ Shockley et al., n.d., 1951, str. 152; Holonyak, n.d., str. 40
- /5/ Shockley et al., n.d., 1951, str. 153
- /6/ Bardeen, Brattain, n.d., 1948, str. 231; Shockley, Electrons and Holes in Semiconductors, D.van Nostrand Company Inc., New York, 1950
- /7/ Holonyak, n.d., 1992, str. 39; Bondyopadhyay, n.d., 1998, str. 196
- /8/ Holonyak, n.d., str. 39. Nasprotno mnenje je objavil Bondyopadhyay, W-Shockley, the Transistor Pioneer-Portrait of an Inventive Genius, Proc. IEEE 86/1 (jan. 1998) str. 207
- /9/ Rojen v nemški družini židovskega porekla v Breslau, današnjem Wrocławu. Po preselitvi v Švicijo in nato ZDA je spremenil svoje prvotno ime Karl
- /10/ Schopman, n.d., str. 141-146
- /11/ Schopman, n.d., str. 162 in 168-170
- /12/ Albin Wedam (1921-1997), Radiotehnika, 2. izdaja, DZS, 1955; Adlešič, n.d., str. 454-455 in 468-469
- /13/ Električna št. 1-2 in 3 (1958) 17 strani
- /14/ Biljanović, n.d., str. 183-184
- /15/ Aleš Strojnik, Peter Šuhel, Tranzistorizacija jugoslovanskega rutinskega elektronskega mikroskopa, EV, 35 (1968) str. 107
- /16/ Kramer, n.d., str. 1206

## Nova knjižica DVTS

Vse več je izdelkov in tehnologij, kjer hermetičnost posod in cevni sistemov igra pomembno vlogo. Njihova večja ali manjša tesnost namreč zagotavlja primerno dobro vzdrževanje nadtlaka oz. podtlaka. Nevarna mesta, kjer netesnost (leak) lahko z veliko verjetnostjo pričakujemo, so najpogostejše: spojke, tesnila, varjeni in spajkani spoji, napake v materialu itd. Zaradi naraščajočih zahtev po kakovosti proizvodov (ISO 9000), se v tehniški praksi vedno pogosteje srečujemo s predpisi o preverjanju tesnosti. Ker je omenjena problematika v širši tehniški javnosti razmeroma slabo poznana, se je Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije odločilo organizirati Posvetovanje o netesnosti sistemov in naprav. Konferenca je potekala oktobra 1997 na IEVT-ju ob

lepem številu udeležencev (41) iz različnih slovenskih podjetij in ustanov. Predstavljenih je bilo 12 referatov, ki jih je organizacijski odbor pod skrbnim nadzorom urednice dr. Lidije Irmančnik Belič, recenzenta oz. lektorja dr. Jožeta Gasperiča in dr. Vinka Nemaniča, izdal v lični knjižici z 79 stranmi (format A4).

Zbornik z naslovom "NETESNOST SISTEMOV IN NAPRAV", ki dokaj dobro pokriva omenjeno tematiko, ima naslednjo vsebino:

- osnove vakuumске tehnike
- teorija črpanja posode oz. sistema in opredelitev velikosti puščanja
- vakuumski spoji
- metode odkrivanja netesnosti
- naprave za odkrivanje netesnosti
- helijev detektor netesnosti
- kalibracije vakuumskih merilnikov in detektorjev netesnosti
- preventiva in odpravljanje netesnih mest
- primeri odkrivanja netesnosti v praksi
- kontrola tesnosti, osnova za kvaliteto proizvodov
- odkrivanje netesnosti pri absorpcijskih hladilnikih
- tesnostni preizkusi v laboratoriju za plinsko tehniko.

V dodatku najdemo še slovarček pogosto uporabljenih izrazov, tabele o sposobnosti in lastnostih testnih metod, o pretvorbni faktorji med enotami, o stopnjah netesnosti, o permeaciji He skozi plastične mase ter opis področij uporabe vakuumskih tehnologij in spisek standardov, ki se nanašajo na tesnost oz. netesnost. Tako zaokrožen zbornik nudi pregled postopkov, znanj in opreme za preskušanje tesnosti oz. za iskanje netesnih mest ter vso potrebno razlago. Menimo, da bo ta prva tovrstna slovenska knjiga, lahko dobro služila vsem, ki imajo opravka z netesnostjo sistemov in naprav.

Izšla je v nakladi 250 izvodov: prejemale jo bodo slušateljci na izobraževalnih tečajih s tega področja, možno jo je pa tudi kupiti v DVTS, Teslova 30, Ljubljana (tel. 177 66 00, cena je 4200 SIT).

mag. Andrej Pregelj

