

Ivan Dujnić

O Tvornici poluvodiča RIZ

Sažetak: U članku je ukratko opisana Tvornica poluvodiča RIZ (TPV), koja je službeno postojala od 1971. do 1989., kad je prestala raditi. Navedeni su razlozi osnivanja i prestanka rada Tvornice te način rada i, na kraju, postignuća.

Ključne riječi: čip, kvaliteta i pouzdanost, tehnologija, tranzistor

Uvod

Šezdesetih godina prošlog stoljeća poluvodička tehnologija počela je istiskivati klasičnu vakuumsku tehnologiju zbog prednosti poluvodiča. Prve poluvodičke komponente bile su građene na kristalu germanija i to legiranjem. Tu je tehnologiju usvojila tvornica EI-Niš. Međutim, tehnologija ima velik nedostatak, a to je da je vrlo teško kontrolirati prodor dopanata u bazu, a time karakteristike tranzistora. Također, karakteristike tranzistora na višim frekvencijama nisu zadovoljavale. Zato je tranzistor razvijen na kristalu silicija novom, planarnom tehnologijom, vrlo brzo istisnuo germanijevu tehnologiju.

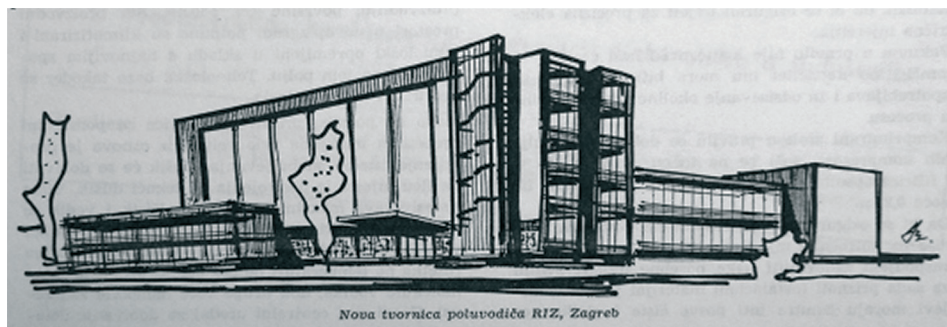
U to je vrijeme u Jugoslaviji postojala elektronička industrija (Radioindustrija – Zagreb, Iskra – Kranj, Elektronska industrija Niš, *Rudi Čajavec*, *Rade Končar*, *Nikola Tesla* i nekoliko manjih tvornica. Bila je prisiljena uvoziti poluvodičke komponente jer domaća proizvodnja nije postojala. Važno je napomenuti da je većina spomenutih tvornica imala odjele koji su proizvodili i vojnu opremu. Stoga je u RIZ-u vrlo brzo sazrela spoznaja da treba i internoj proizvodnji, kao i cjelokupnoj domaćoj industriji, ponuditi poluvodičke komponente proizvedene u zemlji, a u skladu s potrebama i novim trendovima. Odlučeno

je da počne razvoj i proizvodnja silicijeve tehnologije, koja je puno više obećavala od germanijeve.

Razvoj je počeo suradnjom RIZ-a s Institutom za fiziku Sveučilišta u Zagrebu (IFS), gdje je postojala i vrlo skromna oprema i kadrovi nužni za početak. Počela je i suradnja sa Zavodom za elektroniku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu.

Osim najvažnijeg, procesnog dijela, bilo je važno svladati i tehnologiju montaže. Zato je uskoro, kao prvi korak, sklopljen ugovor s tvrtkom General Electric (GE) o montaži tranzistora. Predviđeno je da se GE-ovi čipovi ugrađuju u metalna, hermetička kućišta TO-18, TO-5 i TO-39. S tim je ciljem kupljen dio opreme od GE-a, kao i prostor u dijelu zgrade Poduzeća *Banija* u Zagrebu, gdje je uskoro počeo raditi RIZ – OOUR Tvornica poluvodiča. Istodobno su se stjecale vještine i iskustva u klasifikaciji i kontroli kvalitete. Polako su i naponi na razvoju procesa uznapredovali do točke kad je uspješno projektiran i procesiran vlastiti tranzistor, što je bio vrlo važan događaj. Otad postupno počinje proizvodnja tranzistora vlastitog projekta.

U drugoj polovini šezdesetih počinje gradnja nove zgrade, slika 1., gdje uskoro počinje proizvodnja. Tvornica poluvodiča 1971. i službeno je otvorena. Tad je bila tehnološki i kadrovski zaokružena iako je suradnja s IFS-om, uglavnom zbog razvoja, i dalje trajala. Godine 1973. sklopljen je s tvrtkom Texas Instruments ugovor o montaži tranzistora. Ta je suradnja potrajala nekoliko godina i rezultirala je daljnjim tehnološkim napretkom, posebno na području osiguranja kvalitete.



Sl. 1.: Nova Tvornica poluvodiča RIZ

Polako počinje rasti i izvoz. Osim u Poljsku, Čehoslovačku i DR Njemačku, TPV je izvezio i u zemlju licencnih partnera – SAD, te u SR Njemačku. Naravno da opseg tog izvoza nije bio velik, ali važno je da su naši partneri bili zadovoljni kvalitetom.

1. Proizvodnja

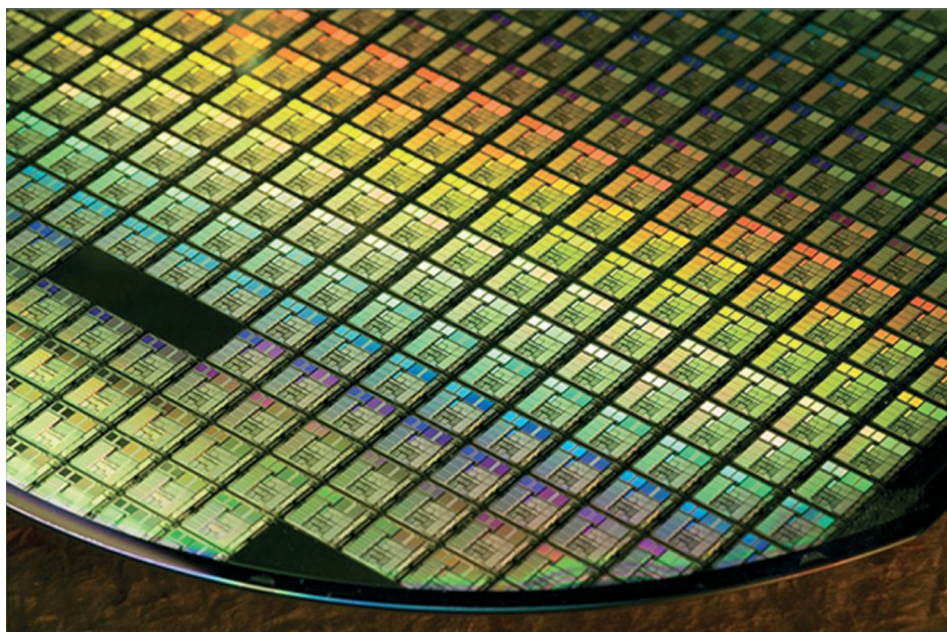
Organizacija TPV-a bila je jednostavna, podijeljena na sektore:

- Proizvodnja (difuzija i montaža)
- Komercijala
- Razvoj
- Upravljanje kvalitetom
- Finomehanička radionica
- Održavanje zgrade i opreme
- Administracija.

Postupak proizvodnje tranzistora dijelio se na:

- procesni dio (difuziju), koji je od silicijevih pločica proizvodio čipove
- montažu – ugradnju čipova u kućišta (podnožja)
- klasifikaciju (sortiranje)
- nadzor kvalitete (provodio ga je sektor kontrole kvalitete).

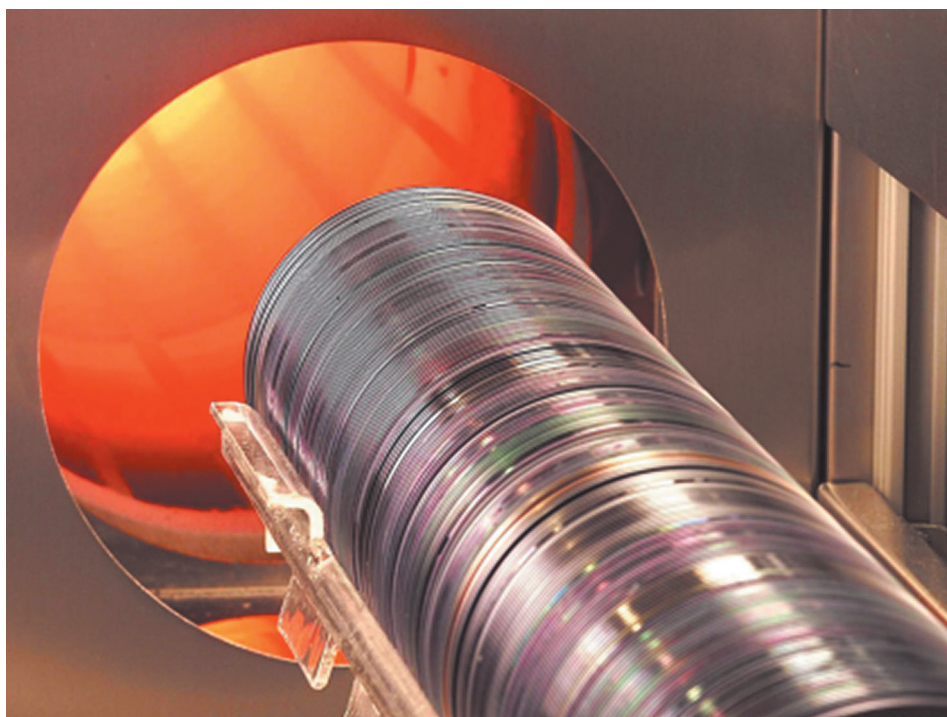
Osnovni repromaterijal od kojeg se proizvodio tranzistor bila je pločica vrlo čistog monokristala silicija (engl. *wafer*). U TPV-u su korištene pločice promjera 5 cm, slika 2., iz kojih se moglo dobiti od nekoliko stotina do 3000 čipova, ovisno o veličini pojedinog čipa.



Sl. 2.: Čipovi tranzistora nakon procesiranja na pločici monokristala silicija



Sl. 3.: Nanošenje fotoemulzije



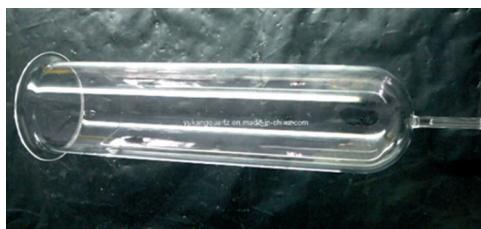
Sl. 4.: Uvlačenje *wafera* u peć



Sl. 5.: Peći za difuziju (starija izvedba peći bila je u TPV-u)



Sl. 6.: Grijač za difuzijsku peć

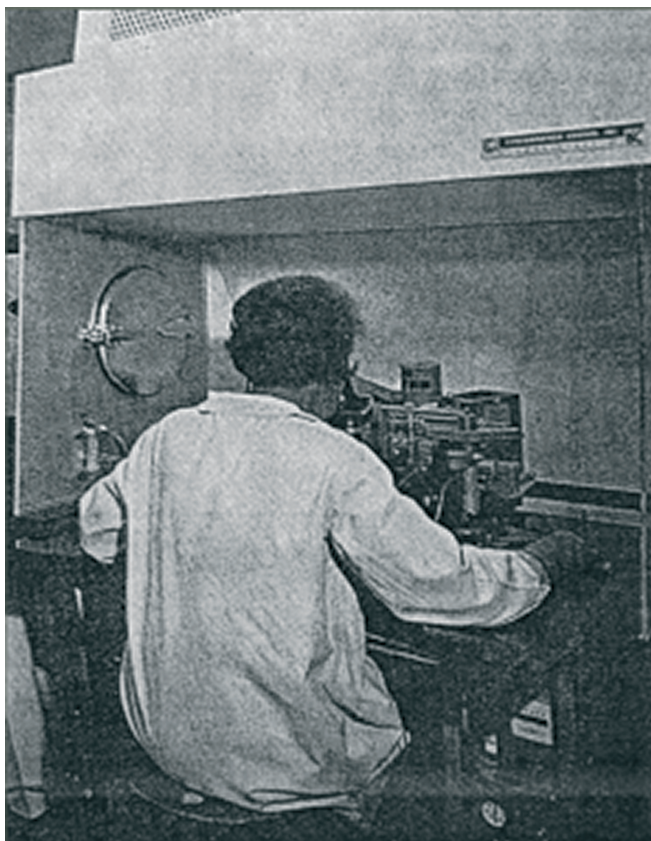


Sl. 7.: Kremena cijev za difuzijsku peć

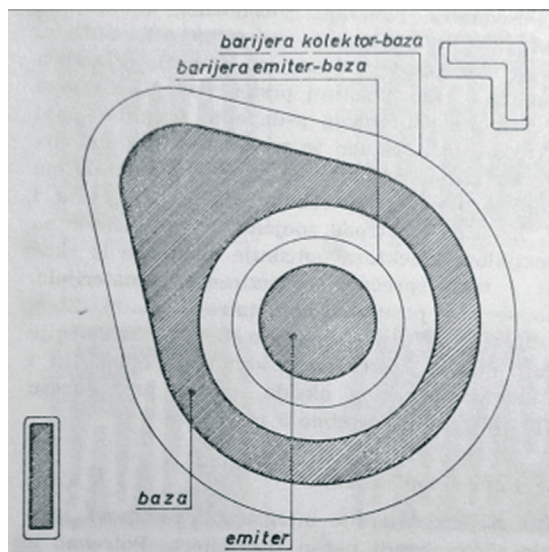
U procesnom dijelu proizvodnje (difuziji), na pločice su se višekratnim fotopostupkom, slika 3., maskirala područja s ciljem da se na površini difundiraju područja baze i emitera. Najprije je maskirano područje baze, nakon čega je pločica stavljena u peć za difuziju, slika 4. Na slici 5. prikazan je vanjski izgled peći te njezini dijelovi, na slici 6. grijač, a na slici 7. kremena (kvarcna) cijev.

Nakon difuzije baze provedena je električna kontrola. Zatim je na jednak način maskirano područje emitera uz pažljivo poravnavanje, slika 8., kako bi emiter bio difundiran unutar baze. Slijedila je difuzija emitera, ali drugim dopantom i u drugoj cijevi.

Potom se nanosila maska za metalizaciju, koja se provodila aluminijem, s pomoću elektronskog topa, i služila je za spajanje s vanjskim priključcima. Slika 9. prikazuje gotov čip s vrlo jednostavnom geometrijom. Slika 10. prikazuje radno mjesto za kontrolu električnih parametara. Loši čipovi označavani su magnetskom tintom.

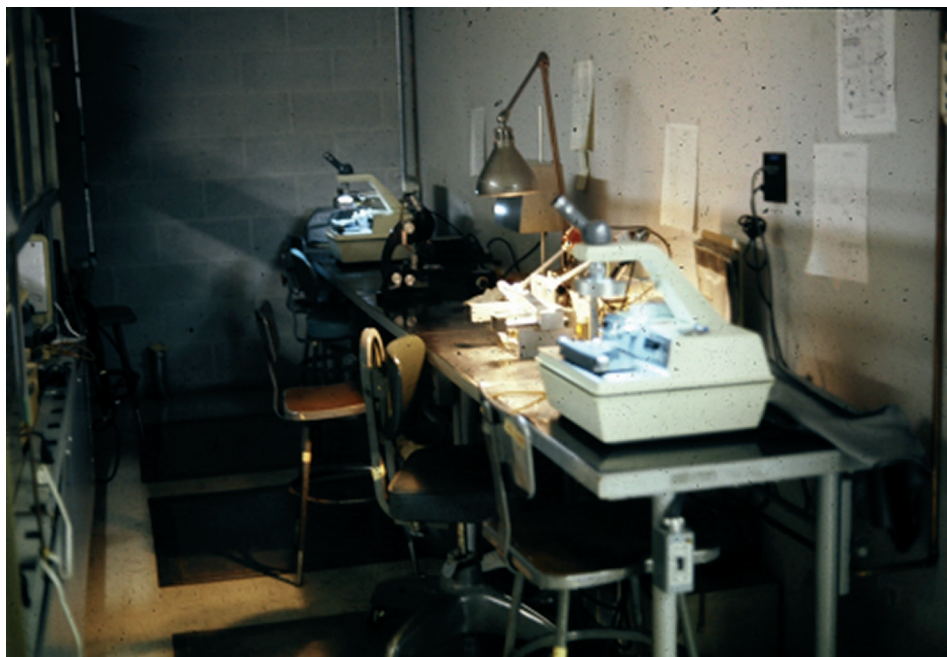


Sl. 8.: Poravnavanje maski na *waferu*

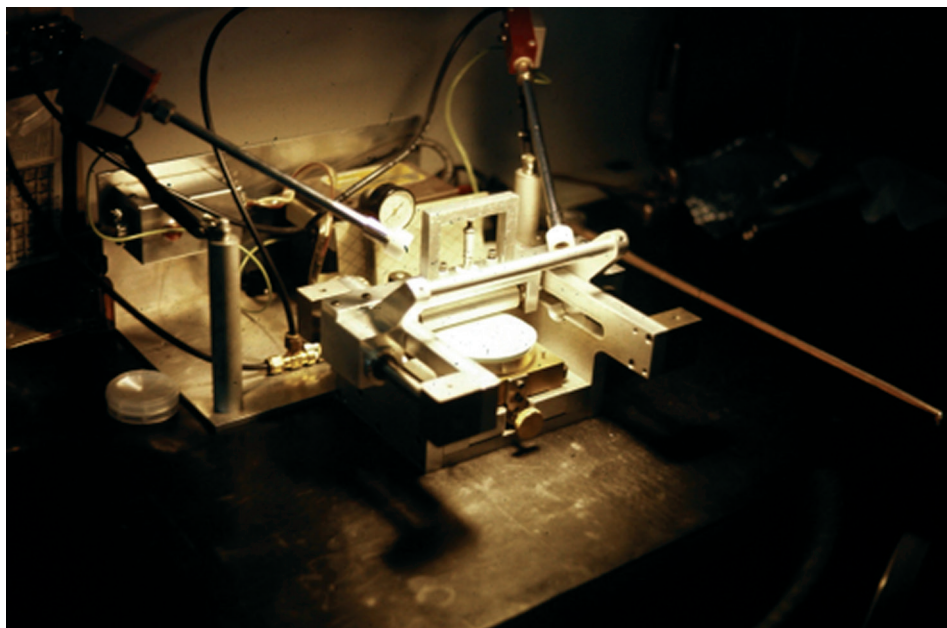


Sl. 9.: Maska jednog tipa tranzistora

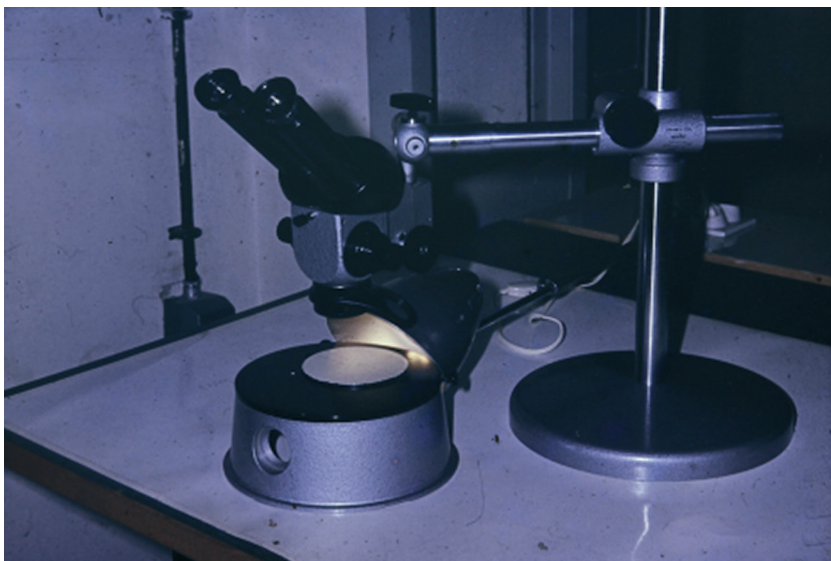
Sl. 10.: Električno ispitivanje *wafers* u procesu difuzije



Sl. 11.: Uređaj za zacrtavanje



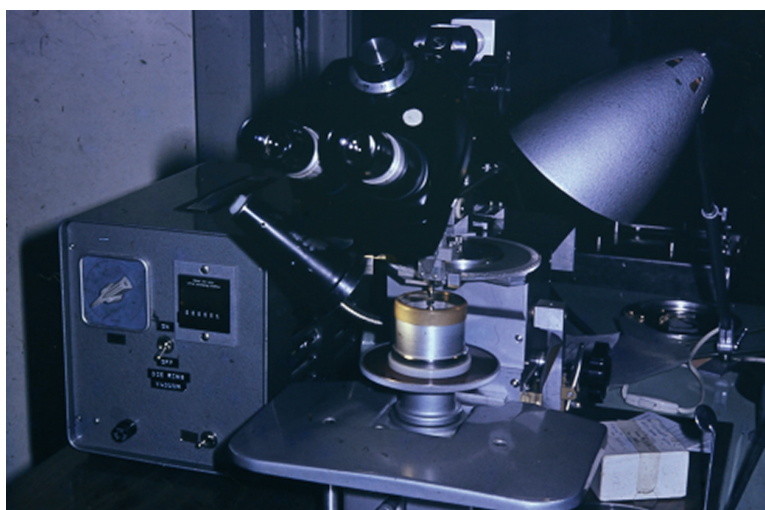
Sl. 12.: Lomilica *wafera*



Sl. 13.: Kontrolno mjesto za izlučivanje loših čipova

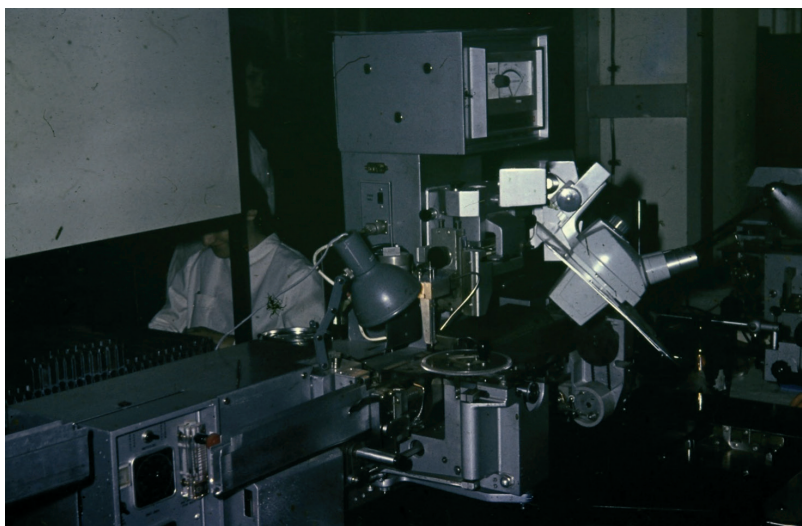
Nakon toga *wafer* bi se s pomoću uređaja za zacrtavanje (engl. *scriber*) zaparao dijamantnim nožem, slika 11., te razlomio, slika 12., čime su čipovi međusobno odvajani. Loši čipovi izvlačili su se s pomoću magneta, slika 13.

Montaža čipova u kućišta odvijala se s pomoću posebnih uređaja *die bonder*, postupkom tzv. eutektičkog legiranja, koje je osiguravalo odličan električni i toplinski spoj. Na slici 14. prikazan je ručni, a na slici 15. automatski *die*



Sl. 14.: Uređaj za legiranje čipova na podnožje

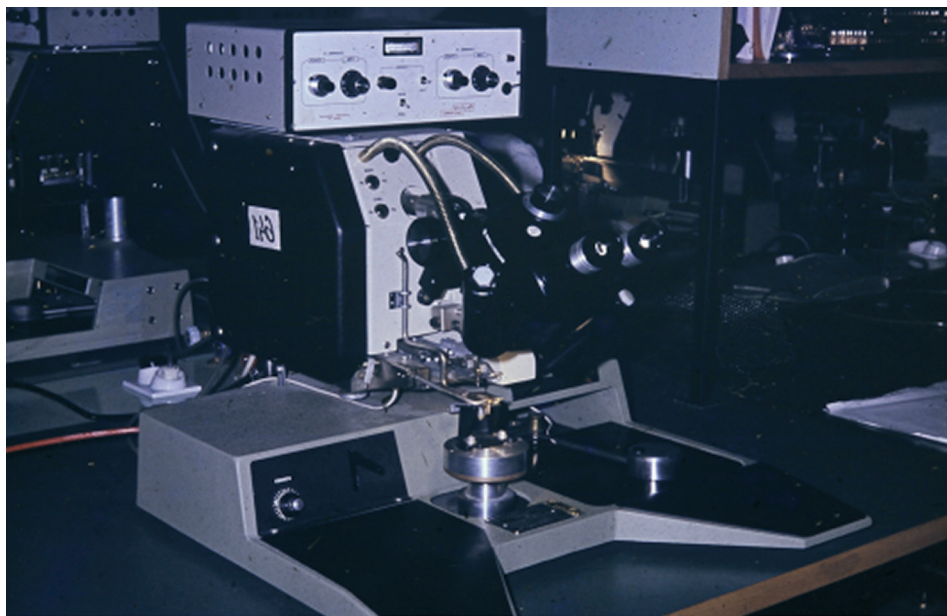
bonder. Slika 16. prikazuje punjenje redenika za automatski *die bonder*. U TPV-u se za spajanje koristila zlatna i aluminijska žica, obje promjera 25 μm i 38 μm . Slika 17. prikazuje ultrazvučni uređaj za spajanje aluminijskom žicom, a slika 18. uređaj za spajanje termokompresijom (za spajanje zlatnom žicom). Slika 19. prikazuje tranzistor prije pokrivanja kasicom.



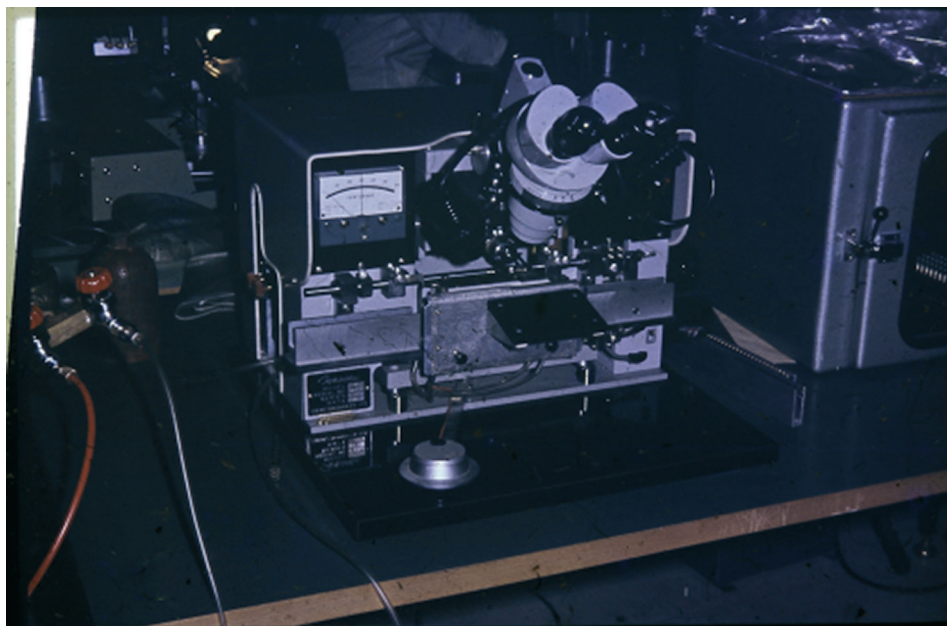
Sl. 15.: Uređaj za legiranje čipova na podnožje



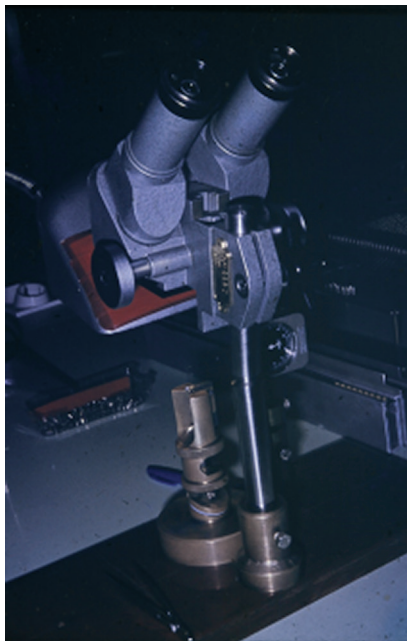
Sl. 16.: Punjenje redenika za *die bonder*



Sl. 17.: Stroj za spajanje žicom *wire bonder*



Sl. 18.: Uređaj za termokompresijsko spajanje žice



Sl. 21.: Kontrolno mjesto za čvrstoću spoja



Sl. 22.: Vakuumska peć

Na slici 20. prikazano je radno mjesto za kontrolu čvrstoće spojeva propuhivanjem, a na slici 21. za kontrolu s pomoću malog dinamometra s kukicom, nakon čega se budući tranzistori pokrivaju niklenim kapicama i stavljaju u vakuumsku peć kako bi se temeljito prosušili, slika 22.

Iz peći se prebacuju izravno u komoru za zavarivanje, slika 23., gdje se vrlo jakom strujom zavaruju kapice. Tranzistori se zatim izlažu visokoj temperaturi (stabilizacija, sl. 24.), a onda i mehaničkom udarcu bacanjem na tvrdu podlogu. Otpornost na povećanu akceleraciju (20 000 *G*) ispitivala se s pomoću centrifuge, slika 25. I hermetičnost se ispitivala metodom uzoraka i to na grubo (ubacivanjem u vrući freon) i fino curenje s pomoću masenog spektrometra, slika 26.

Tranzistori su zatim išli na električno ispitivanje, odnosno klasifikaciju. Koristio se poseban uređaj na kojem je bilo moguće programirati svaki test, slika 27. Budući da postoji prirodno rasipanje parametara, iz svake se šarže moglo izvući nekoliko tipova. Primjerci koji nisu zadovoljavali ni jedan tip smatrani su škartom. Uz taj uređaj dodan je i dio za automatsko rukovanje tranzistorima, izrađen u vlastitoj radionici (nije na slici). Klasificirani tranzistori išli su na tiskanje oznake i na skladište odnosno u isporuku.

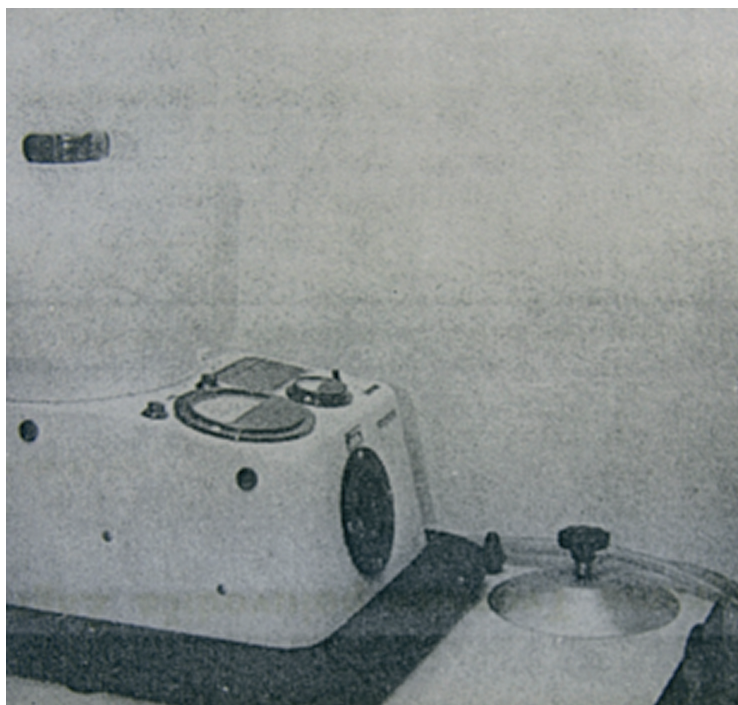
Iz navedenog je vidljivo da je postupak proizvodnje vrlo osjetljiv i složen. Postoji bezbroj faktora koji mogu dovesti do pojave masovnog škarta. Inverzna struja najkritičniji je parametar te je stalno nadzirana metodom uzoraka, slika 28. Uzorci su uzimani prema AQL (engl. *acceptance quality level*) tablicama.



Sl. 23.: Zavarivanje kapica na podnožja



Sl. 24.: Peć za stabilizaciju



Sl. 25.: Centrifuga 20 000 G



Sl. 26.: Maseni spektrometar za mjerenje hermetičnosti



Sl. 27.: Uređaj za električnu klasifikaciju tranzistora



Sl. 28.: Uređaj za mjerenje inverzne struje tranzistora

2. Upravljanje kvalitetom

Tvornica je imala i poseban sektor za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću. Kupci su imali različite zahtjeve pa su u vezi s tim bile određene tri razine kvalitete i pouzdanosti:

- a) široka potrošnja
- b) profesionalna
- c) vojna.

Vojna razina dalje se dijelila na tri podrazine:

- a) JAS 1
- b) JAS 2
- c) JAS 3.

JAS 1 je razina na kojoj otkaz tranzistora prouzročuje materijalnu štetu. JAS 2 je razina na kojoj otkaz može prouzročiti veću štetu, a JAS 3 ona koja može izazvati ljudske žrtve.

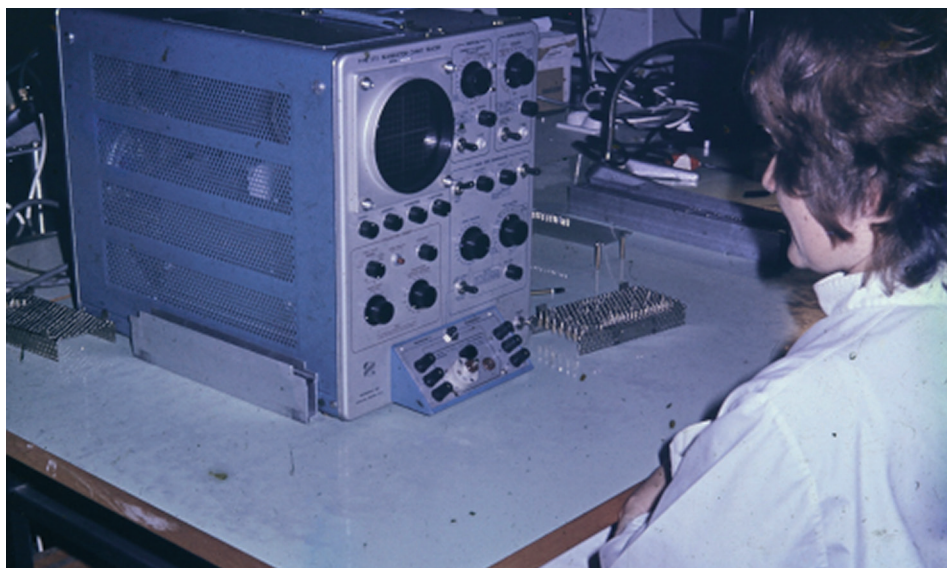
Da bi se smanjile štete, a kupci bili zadovoljni, organizirana je integrirana kontrola kvalitete prema Feigenbaumu, američkom stručnjaku za to područje. Osnovna je ideja takve kontrole, osim osiguranja željene kvalitete i pouzdanosti, da cijena proizvoda odabrane razine kvalitete bude kupcu prihvatljiva, a proizvođaču isplativa. Važno je voditi računa i o samoj cijeni kvalitete jer se

ona odražava i na cijenu proizvoda. Smatralo se prihvatljivim ako su troškovi manji od 1,5 % u odnosu na ukupnu realizaciju na godišnjoj razini.

Tipska ispitivanja bila su od posebne važnosti za vojnu proizvodnju. Osim navedenih, postavljani su i zahtjevi za otpornost na klimatske uvjete, robusnost i pouzdanost. Zbog toga su 100 % ispitivani na mehaničke udarce, temperaturno cikliranje, izlaganje slanoj atmosferi i mjerenje životnog vijeka. O rezultatima je ovisio projekt, izbor materijala, proces itd.

Životni vijek ispitivao se tako da se određena količina tranzistora (u našem slučaju 1000 komada) sukcesivno mjerila i opterećivala maksimalno dopuštenom snagom u posebno građenom uređaju vlastite izrade, slika 30. Primjerci koji su otkazali, tj. izišli izvan dopuštenih granica, zabilježeni su kao nepouzdana. Ako se nacрта ovisnost frekvencije otkaza o vremenu, dobiva se Weibullova krivulja, slika 31., na kojoj se razlikuju tri jasno izražena područja: najprije područje tzv. dječjih bolesti, unutar kojeg otkazuju primjerci koji imaju neki defekt; slijedi dug i nizak dio, životni vijek; na koncu slijedi porast broja otkaza zbog istrošenosti. Mjerenja na nekim tipovima pokazala su samo jedan otkaz na 1 000 000 komponent-sati, što je vrlo dobar rezultat.

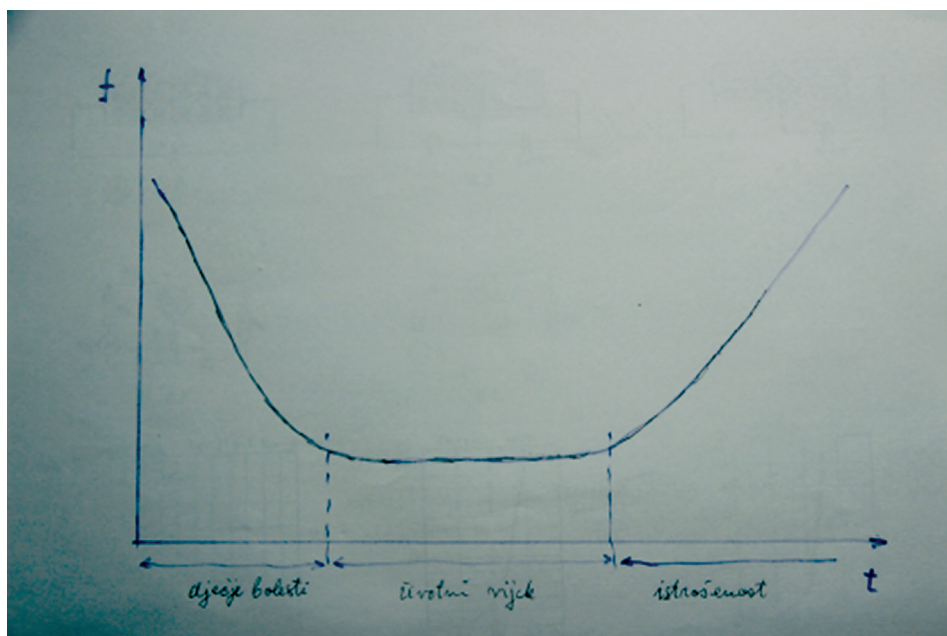
Tipovi za razinu JAS 2 i JAS 3 prolazili su 100 % vizualnu kontrolu čvrstoće legiranja čipa te spoja žice dinamometrom. Nadalje, postojao je i zahtjev za pouzdanost. Zbog toga su podvrgnuti postupku predopterećivanja (tzv. *Screening*, koji se također provodio na spomenutom uređaju za ispitivanje životnog vijeka). Svrha je eliminiranje otkaza iz područja dječjih bolesti i na taj je način osigurana pouzdanost.



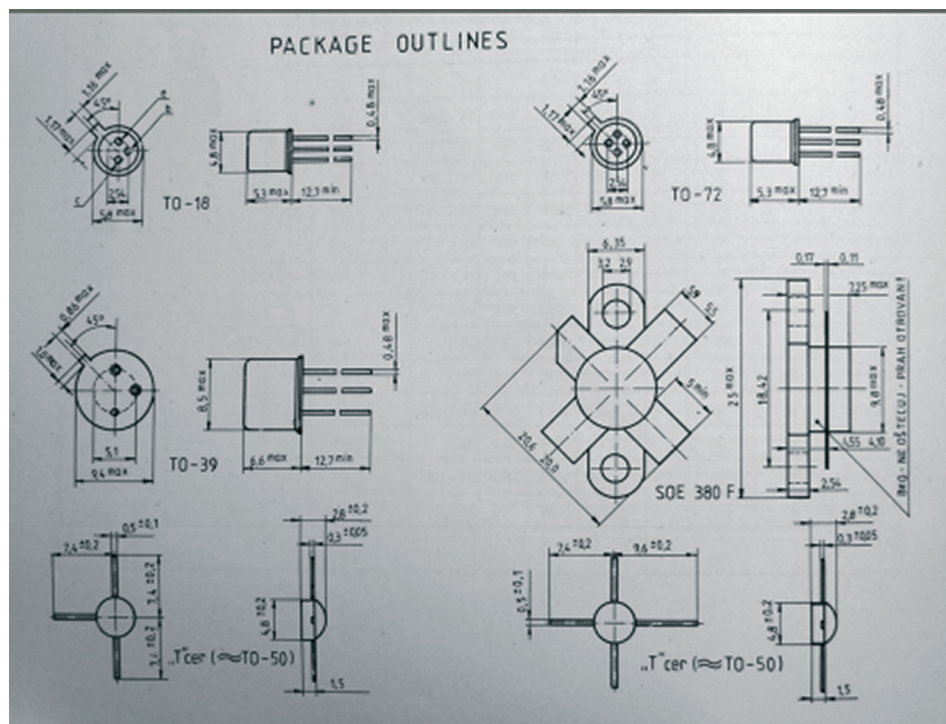
Sl. 29.: Električna kontrola tranzistora prije zavarivanja kapice



Sl. 30.: Ispitivanje životnog vijeka tranzistora



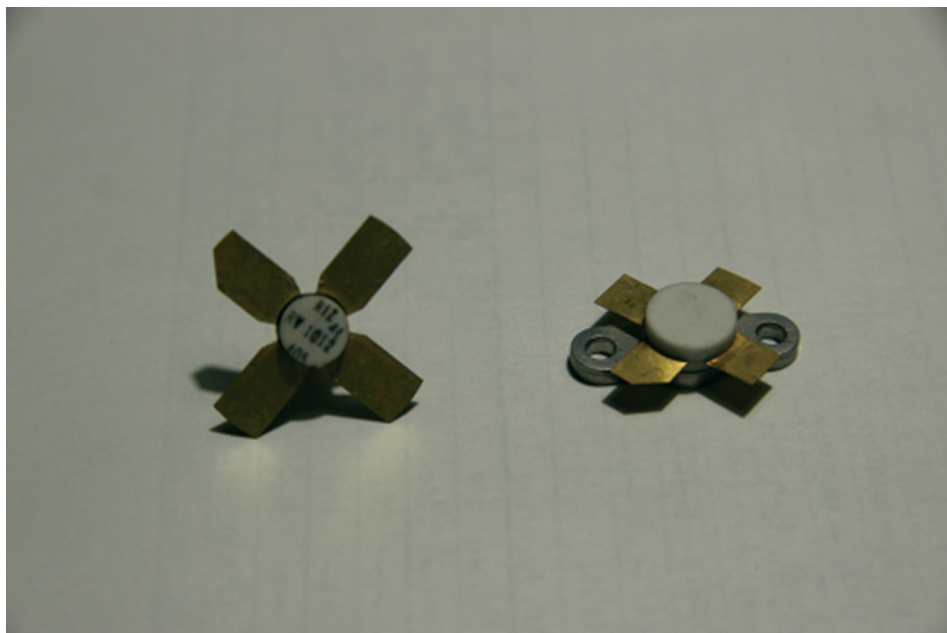
Sl. 31.: Weibullova krivulja



Sl. 34.: Kućišta Tvornice poluvodiča



Sl. 35.: Uređaj za ispitivanje digitalnih integriranih sklopova



Sl. 36.: VF tranzistori snage



Sl. 37.: Mjerni sklop za tranzistor 150 W, 30 MHz

Glavni proizvod Tvornice poluvodiča bili su bipolarni tranzistori male i srednje snage. Osim u kućištima TO-18, TO-39 i TO-72, slika 32., koja su bila metalna (kovar) i pozlačena, osamdesetih godina počela je i proizvodnja tranzistora u plastičnom kućištu. Uspješno je razvijen P-kanalni i N-kanalni JFET, PUT te tiristor male snage. Također su razvijeni VF tranzistori snage, i to u rasponu od 2 do 150 W te u području frekvencija od 30 do 400 MHz. Ti tranzistori zahtijevali su kućišta od metala i keramike, slike 33. i 34. Tvornica je proizvodila i integrirane sklopove niskog stupnja integracije, nekoliko tipova digitalnih, kao i linearnih, u plastičnom te keramičkom kućištu. Slika 35. prikazuje uređaj za ispitivanje digitalnih integriranih sklopova. Dobro je napredovao razvoj operacijskog pojačala μA 709, kao i razvoj stereopojačala 2×2 W.

Slika 36. prikazuje tranzistor 10 W / 150 MHz i tranzistor 150 W / 30 MHz, a slika 37. sklop za ispitivanje. Uz njega je bio i uređaj (nije na slici), koji je opterećivao tranzistor pri nedostatku tereta. Nakon tog ispitivanja snaga je smjela pasti za samo 10 %. Nažalost, iako je razvoj tih tranzistora uspješno završen, proizveden je relativno mali broj komada jer je tvornica uskoro prestala raditi.

Zaključak

Tvornica je počela rad u vrijeme kad je Jugoslavija bila u fazi industrijskog rasta. Doduše, postojala je konkurencija među nekim tvornicama, ali, uglavnom zahvaljujući entuzijazmu nekoliko djelatnika RIZ-a, TPV je ipak krenuo. Ključna osoba bio je inženjer Zdravko Bendeković, koji je okupio oko sebe skupinu mladih inženjera, većinom iste generacije i vrlo motiviranih (Magda Balaša-Šribar, Branka Bogdanović, Jasminka Čupurdija, Antonija Delač, Ivan Gložinić, Mladen Hren, Brigita Mestnik, Vlatka Radić, Rudi Ročak, Ivan Šmalcelj, Srebrenka Ursić...).

Vrlo je važna bila i suradnja s ETF-om (danas FER) i prof. dr. sc. Petrom Biljanovićem, koja se odnosila najvećim dijelom na projektiranje procesa (tj. difuzije) i geometrije u cilju postizanja zahtijevanih parametara. Prof. Biljanović aktivno je sudjelovao i u planiranju razvoja.

Proizvedeni tranzistori bili su visoke kvalitete, što su potvrdili kupci iz inozemstva, domaći kupci, kao i vlastita ispitivanja. Nažalost, ni republičke ni državne strukture u to vrijeme nisu imale sluha za takvu vrstu proizvodnje. Onda je osamdesetih godina došlo i do recesije, koja je poslovanje Tvornice ozbiljno ugrozila. Padom Berlinskog zida prestao je postojati istočni blok, a time je otpao i najveći dio vanjskog tržišta. Tu je, nažalost, bio kraj TPV-a.

Tvornica je bila radno intenzivna (na vrhuncu je zapošljavala 550 radnika), pa njezinu važnost ne treba gledati samo s točke profita. Bila je tehnološka baza za elektroničku industriju, kao i rasadnik kadrova. Time bi bio potaknut i razvoj



Sl. 39. a, b, c: Ostaci Tvornice poluvodiča RIZ danas

elektroničke industrije. Osamdesetih godina u svijetu su postojala svega četiri proizvođača VF tranzistora snage. Da je preživjela, Tvornica bi vjerojatno danas bila peta, u prvom redu zato što je bila orijentirana na proizvodnju skupih i kvalitetnih komponenata (gdje VF tranzistori snage svakako spadaju), jer se s masovnom proizvodnjom jeftinih tranzistora već onda nije moglo konkurirati inozemnim proizvođačima. Šteta da ni hrvatska država nije našla interes u

nastavku proizvodnje u TPV-u, koja sad više bez državne pomoći ne bi mogla opstati, slika 38.

Članak je pisan na temelju sjećanja. Od zatvaranja TPV-a prošla su tri desetljeća i bilo je teško pronaći materijale. No, bolje i ovako skromno, nego da pokušaj uvođenja jednog domaćeg visokotehnološkog proizvoda potpuno zaboravimo. Sl. 39. a, b, c prikazuje kako danas izgledaju ostaci TPV-a.

Literatura

- [1] Časopis *Elektrotehnika*, svibanj 1971.
- [2] Zbornik radova MIPRO MIEL, Konferencija o mikroelektronici, 1979.
- [3] Borislav Juzbašić: *Elektronički elementi*, Školska knjiga, Zagreb, 1975.

About RIZ Semiconductor Factory

Ivan Dujnić

Abstract: In this article Semiconductor Plant (TPV) in Zagreb, Croatia, will be briefly described together with reasons for founding and closing it and how it worked, and, at last, technological achievements. TPV worked officially from 1971 to 1989.

Keywords: transistor, chip, technology, quality and reliability

