

Spis treści

Półprzewodniki

(oprac. Mgr. inż. Józef Knysz)

Światowe osiągnięcia techniki półprzewodnikowej

Dotychczasowy rozwój techniki półprzewodnikowej w Polsce

Efekty techniczno-ekonomiczne zastosowania techniki półprzewodnikowej w sprzęcie elektronicznym

Węzłowe zagadnienia dalszego rozwoju techniki półprzewodnikowej w Polsce

Elektroniczne maszyny matematyczne

(oprac. Mgr. inż. Józef Knysz)

Podstawowe rodzaje maszyn matematycznych i ich zasadnicze cechy

Stan techniki światowej w zakresie budowy i zastosowań maszyn matematycznych oraz tendencje rozwojowe w tej dziedzinie

Rzeczony elektronicznych maszyn matematycznych w Polsce

Węzłowe zagadnienia w dalszym rozwoju maszyn matematycznych w kraju

Izotopy promieniotwórcze

(oprac. Mgr. inż. Andrzej Prądzyński)

Zastosowanie izotopów

Produkcja izotopów

Produkcja aparatury

Przygotowanie przemysłu

NAJNOWSZE KIERUNKI ROZWOJU TECHNIKI

Półprzewodniki

Wprowadzenie

Technika przyrządów półprzewodnikowych stała się odrębną dziedziną elektroniki, obecnie zwaną ogólnie elektroniką półprzewodnikową w odróżnieniu od elektroniki próżniowej, zajmującej się techniką lamp elektronowych.

Na ogół uważa się, że właściwy dynamizm w rozwoju przyrządów półprzewodnikowych datuje się od momentu wykrycia przez uczonych J. Bardeena, W. Brattaina i W. Schockleya w 1948 r. zjawiska tranzystorowego, mimo że niektóre przyrządy półprzewodnikowe były znane i wykorzystywane dużo wcześniej. Wykrycie tego zjawiska umożliwiło bowiem nie tylko zbudowanie tranzystora, ale i wytłumaczenie pewnych właściwości przewodnictwa elektrycznego w półprzewodnikach, co miało ogromny wpływ na dalsze badania i rozwój przyrządów półprzewodnikowych.

Szczególnie rozwinęły się i znalazły szerokie zastosowanie przyrządy półprzewodnikowe, w których wykorzystuje się oddziaływanie energii zewnętrznej na swobodne nośniki ładunku i na ich ruch w ciele stałym. Przyrządy półprzewodnikowe, a głównie diody półprzewodnikowe, oporniki fotoelektryczne, fotodiody oraz tranzystory czyli triody półprzewodnikowe są w wielu zastosowaniach w aparaturze elektronicznej korzystniejsze aniżeli lampy elektronowe, w niektórych zaś zastosowaniach posiadają wręcz wyjątkowe znaczenie.

Poza powyższą ogólną charakterystyką elektroniki półprzewodnikowej należy wyjaśnić również podstawowe pojęcia i najbardziej charakterystyczne cechy półprzewodników. Cechę tę wykazuje grupa pierwiastków i związków chemicznych, która pod względem wartości przewodności elektrycznej zajmuje miejsce pośrednie pomiędzy przewodnikami i dielektrykami (izolatorami). Dla półprzewodników charakterystyczny jest również ujemny współczynnik temperaturowy oporności elektrycznej. Oznacza to, że przy wzroście temperatury oporność półprzewodników maleje, odwrotnie jak to obserwujemy w przewodnikach stałych (np. metalach). Półprzewodniki mają z zasady budowę krystaliczną.

Działanie diod półprzewodnikowych i tranzystorów wynika z ich struktury wewnętrznej i zawartości domieszek, które mają wpływ na przewodność elektryczną półprzewodnika. Wieloletnie przeprowadzone badania wykazały, że istnieją półprzewodniki dwóch podstawowych typów. Jeden typ to półprzewodniki, które podobnie jak metale mają przewodnictwo elektronowe i nazywają się półprzewodnikami typu N (od słowa negative — ujemny). W tych półprzewodnikach prąd elektryczny stanowi ruch elektronów, tj. ujemnie naładowanych cząstek. W półprzewodnikach typu N znajduje się duża liczba słabo związanych z jądrem atomu elektronów, które wykonują chaotyczny ruch cieplny między ato-

mami tworzącymi siatkę krystaliczną danego pierwiastka. Pod wpływem doprowadzonej do półprzewodnika różnicy potencjałów słabo związane elektrony uzyskują dodatkowe przyspieszenie w określonym kierunku, które jest właśnie prądem elektrycznym.

Półprzewodniki drugiego rodzaju wykazują tak zwane przewodnictwo dziurowe i noszą nazwę półprzewodników typu P (od słowa positive — dodatni). Istota przewodnictwa dziurowego polega na następującej zasadzie:

Atom półprzewodnika typu P może pod wpływem ciepła lub obecności określonej domieszki stracić jeden z najbardziej oddalonych od jądra elektronów (są to równocześnie najslabiej związane z jądrem atomu elektrony).

W takim przypadku atom traci równowagę ładunków dodatnich i ujemnych (która cechuje normalny stan atomu) i będzie wykazywał na zewnątrz ładunek dodatni, równy co do wartości straconemu ładunkowi elektronu. Ubytek jednego elektronu z atomu półprzewodnika, tj. uzyskanie przez taki atom ładunku dodatniego, przyjęło się nazywać dziurą. Badania wykazały, że zachowanie się dziur jest takie samo jak elementarnych ładunków dodatnich. Przewodnictwo dziurowe polega więc na tym, że pod wpływem doprowadzonej do półprzewodnika różnicy potencjałów dziury te przesuwają się w określonym kierunku między atomami, tworzącymi siatkę krystaliczną półprzewodnika, co równoznaczne jest z przemieszczaniem się ładunków dodatnich.

W danym półprzewodniku można uzyskać przewodnictwo elektronowe lub dziurowe, jak już wspomniano, wskutek dodania odpowiedniej domieszki. German np., szeroko stosowany w przyrządach półprzewodnikowych, uzyska przewodnictwo typu N, jeżeli dodamy do niego takie pierwiastki, jak antymon lub arsen. Atomy tych pierwiastków, wchodząc do siatki krystalicznej germanu, tracą po jednym elektronie, które są wolnymi elektronami i decydują o przewodności elektronowej półprzewodnika germanowego. Jeżeli jednak do germanu dodana zostanie domieszka indu lub glinu, wówczas ich atomy zabierają elektrony od atomów germanu, wskutek czego powstają dziury, które w germanie zachowują się jak ładunki dodatnie, powodując przewodnictwo typu P.

Te dwa rodzaje przewodnictwa zostały wykorzystane w budowie przyrządów półprzewodnikowych. W przyrządach tych wytwarza się obok siebie dwa obszary półprzewodnika o odmiennym typie przewodnictwa, tworząc tzw. złącze P—N, które stanowi podstawę działania większości przyrządów półprzewodnikowych, a w szczególności diod i tranzystorów.

Najistotniejszą cechą złącza P—N jest to, że jego oporność elektryczna w jednym kierunku (przewodzenia) jest mała, np. około 10Ω , a w drugim (zaporowym) jest wielka, np. 10 milionów Ω . Własność ta została wykorzystana w diodach półprzewodnikowych do prostowania (detekcji) przebiegów elektrycznych zmiennych.

Dwa złącza P—N usytuowane naprzeciw siebie w kryształach półprzewodnika pozwalają na uzyskanie efektu wzmocnienia (efekt tranzystorowy), podobnego jak w lampie elektronowej.

Istotna różnica między mechanizmem działania lampy elektronowej a tranzystora leży w tym, że w lampie elektronowej przebiegi elektryczne (przemieszczenia ładunków) sterowane są w próżni lub w rozrzedzonej gazie dzięki odpowiedniemu układowi elektrod i ich potencjałów elektrycznych, natomiast w tranzystorze ładunki elektryczne, sterowane różnicą potencjałów przyłączonego źródła

zasilania, poruszają się w sieci krystalicznej półprzewodnika pomiędzy złączami P—N.

Przy porównaniu cech fizycznych przyrządów półprzewodnikowych i lamp elektronowych należy stwierdzić lepsze właściwości przyrządów półprzewodnikowych głównie dzięki małym wymiarom, dużej trwałości i odporności mechanicznej oraz dużej ekonomii zasilania. Natomiast ujemną ich cechą w porównaniu z lampami elektronowymi jest zależność parametrów elektrycznych od temperatury i duży rozrzut parametrów w produkcji wielkoseryjnej danego typu przyrządu półprzewodnikowego. Przeważają jednak cechy dodatnie w przyrządach półprzewodnikowych, wśród których wyróżnia się ich mały pobór energii ze źródeł zasilających. Stosowanie przyrządów półprzewodnikowych w układach elektronicznych zapewnia znaczne oszczędności w zużyciu energii elektrycznej oraz umożliwia wielokrotne zmniejszenie wymiarów aparatury i urządzeń elektronicznych przy równoczesnym zminiaturyzowaniu innych podzespołów, jak oporników, kondensatorów itp.

Pomyślny rozwój przyrządów półprzewodnikowych nie może oczywiście doprowadzić do wyeliminowania lamp elektronowych, ponieważ w udoskonaleniu tych ostatnich osiągnięto również znaczne postępy. W jednych przypadkach bardziej celowe okazuje się zastosowanie przyrządów półprzewodnikowych, w innych natomiast lepiej zachowują się lampy elektronowe. Swoiste współzawodnictwo tych elektronik, tj. próżniowej i półprzewodnikowej, sprzyja szybszemu i twórczemu ich rozwojowi, mającemu wpływ na rozwój techniczny urządzeń elektronicznych.

Światowe osiągnięcia techniki półprzewodnikowej

Zasadniczy rozwój techniki półprzewodnikowej dokonał się na przestrzeni ostatnich 15 lat, tj. od chwili opracowania tranzystora. W tym okresie wraz z rozwojem teorii półprzewodników i złącz P—N następuje równoczesny rozwój techniki w przemyśle półprzewodnikowym. Większość nowych przyrządów półprzewodnikowych w minionym 15-leciu powstała na drodze eksperymentu i w oparciu o teoretyczne przewidywania efektów odpowiedniego doboru materiałów, konstrukcji i technologii tych przyrządów. Tak więc silne powiązanie nauki z techniką i produkcją w dziedzinie elektroniki półprzewodnikowej jest zasadniczą podstawą dynamiki jej rozwoju.

Rzeczywisty rozwój technologii przyrządów półprzewodnikowych umożliwił uzyskanie coraz lepszych parametrów technicznych oraz efektów ekonomicznych w produkcji tych przyrządów.

Charakteryzując z technicznego punktu widzenia główne kierunki światowego rozwoju techniki przyrządów półprzewodnikowych należy podkreślić dwa zasadnicze:

— opanowanie konstrukcji i technologii przyrządów półprzewodnikowych w celu podniesienia stabilności ich pracy oraz zastosowania ich w układach o coraz większych częstotliwościach zmian przebiegów elektrycznych,

— powiększenie dopuszczalnych dla danego przyrządu mocy admysyjnych.

Kierunki te znalazły swój szczególny wyraz w rozwoju diod półprzewodnikowych i tranzystorów, które mają obecnie bardzo szerokie zastosowanie w układach elektronicznych.

W dążeniu do osiągnięcia wielkich częstotliwości pracy i wysokich poziomów mocy skonstruowano szereg najbardziej nowoczesnych przyrządów półprzewodnikowych, jak: diody Zenera, przełączniki jako diody czterowarstwowe, diody lawinowe, diody parametryczne i diody tunelowe. W szczególności te ostatnie stanowią istotny krok naprzód w dziedzinie uzyskania wysokich częstotliwości pracy.

Poza wymienionymi dwoma zasadniczymi kierunkami rozwojowymi obserwuje się wyraźnie tendencję do miniaturyzacji, polepszenia niezawodności i trwałości, poprawy parametrów elektrycznych oraz właściwości mechanicznych i termicznych produkowanych przyrządów półprzewodnikowych. Jako wynik tych tendencji powstała i rokuje duże nadzieje na przyszłość nowa gałąź elektroniki półprzewodnikowej, tj. obwody monolityczne czyli scalone.

Rosnące wymagania w stosunku do przyrządów półprzewodnikowych zmuszają do poszukiwania i stosowania materiałów półprzewodnikowych o szczególnie korzystnych parametrach. Dlatego w elektronice półprzewodnikowej wiele uwagi poświęca się materiałom i to nie tylko stosowanym dotychczas najczęściej pierwiastkom czwartej grupy układu okresowego Mendelejewa, lecz również związkom półprzewodnikowym.

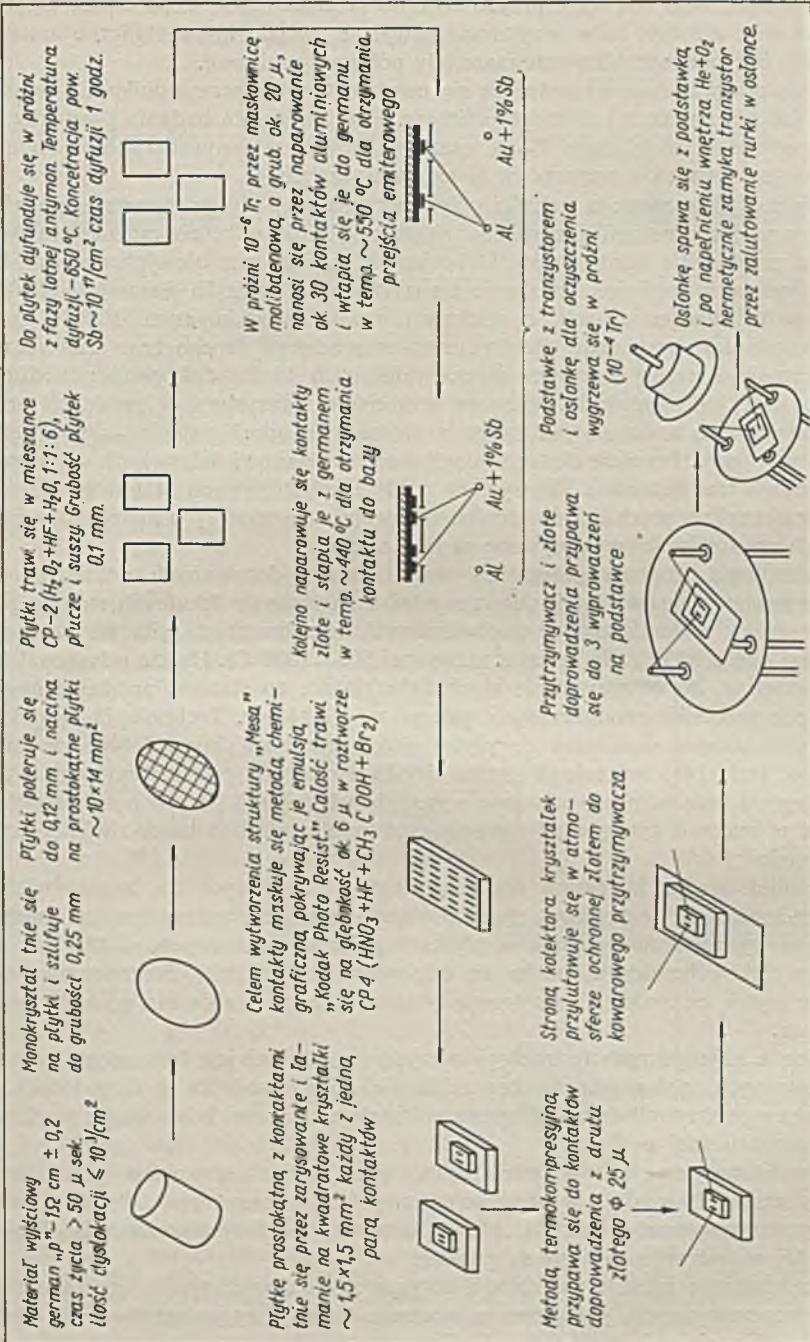
Przegląd światowych osiągnięć w zakresie materiałów półprzewodnikowych przedstawia się następująco:

— Materiałem półprzewodnikowym o najszerszym dotychczas zastosowaniu jest german. Rośnie więc gwałtownie produkcja germanu wysokiej czystości i już w 1958 r. światowa produkcja przekroczyła 100 t germanu monokrystalicznego. Technologia oczyszczania i wyciągania monokryształów germanu jest już dobrze poznana i w praktyce można w sposób powtarzalny otrzymać monokryształy germanu o odpowiednio wymaganych opornościach.

— Drugim materiałem półprzewodnikowym stosowanym do budowy przyrządów półprzewodnikowych jest krzem. Wykazuje on możliwość niezawodnej pracy w znacznie wyższych temperaturach w porównaniu z germanem i jest materiałem dla szeregu zastosowań bardziej perspektywicznym dla elektroniki półprzewodnikowej aniżeli german. Otrzymywanie monokryształów krzemu jest jednak znacznie trudniejsze, czego wyrazem jest duża różnica cen w porównaniu z germanem. Mimo to znajduje on obecnie powszechne zastosowanie, a same tylko USA wyprodukowały już w 1960 r. około 45 t krzemu monokrystalicznego.

Dzięki możliwości wytwarzania na powierzchni krzemu jednolitej warstwy tlenków jest on szczególnie przydatny do produkcji tranzystorów wg najnowocześniejszych technologii, jak również do wytwarzania obwodów scalonych.

W poszukiwaniu materiałów o lepszych niż german i krzem parametrach stwierdzono, że związki pierwiastków grupy 3 i 5 układu okresowego Mendelejewa mają również własności półprzewodników, toteż obecnie na szeroką skalę prowadzi się badania takich związków, jak: arsenek galu, antymonek galu i fosforek galu oraz antymonek indu. W wyniku tych badań wykonano w laboratoriach szereg przyrządów półprzewodnikowych (diod tunelowych i tranzystorów), które wykazują lepsze parametry i zdolności pracy w układach bardzo wielkich częstotliwości w porównaniu z przyrządami półprzewodnikowymi wykonanymi z germanu i krzemu. Stwierdzono, że antymonek galu jest szczególnie przydatny dla diod tunelowych o niskim poziomie szumów. Fosforek galu wykazuje cechy, dzięki którym może być wykorzystany do budowy przyrządów fotoelektrycznych,



Szkic technologiczny tranzystora „Mesa”

a antymonek indu wykazuje przydatność do produkcji diod tunelowych. Ogólnie można więc założyć, że w przyszłości powyższe związki intermetaliczne zastąpią w wielu przypadkach klasyczne materiały półprzewodnikowe.

Wiele pracy badawczej poświęca się ostatnio tzw. półprzewodnikom organicznym, jak np. antraceni i niektóre polimery. Dotychczasowe badania pozwoliły na wytworzenie w nich złącz P—N oraz możliwość zastosowania półprzewodników organicznych do przyrządów termoelektrycznych.

W przeglądzie rozwoju techniki półprzewodnikowej istotne znaczenie ma również rozwój technologii przyrządów półprzewodnikowych, co można przedstawić na przykładzie tranzystorów. Dążeniem w pracach rozwojowych nad udoskonaleniem technologii jest uzyskanie tranzystorów o lepszych parametrach elektrycznych i mechanicznych, o większym uzysku produkcyjnym oraz o dużej powtarzalności parametrów elektrycznych w produkcji danego typu tranzystora. W technologii tranzystorów w okresie minionych 15 lat dokonano poważnego skoku w jej udoskonaleniu. Pierwsze wykonanie tranzystora w produkcji przemysłowej — to tranzystor ostrzowy, a dalsze jego udoskonalenia — to tranzystor warstwowy. Przejście do technologii stopowej stanowi dalszy krok w rozwoju technologii tranzystorów. Tranzystory o złączach stopowych stanowiły dotychczas większość w produkcji światowej; szczególnie tranzystory o małej mocy i dla małych częstotliwości wykonywane są jako stopowe.

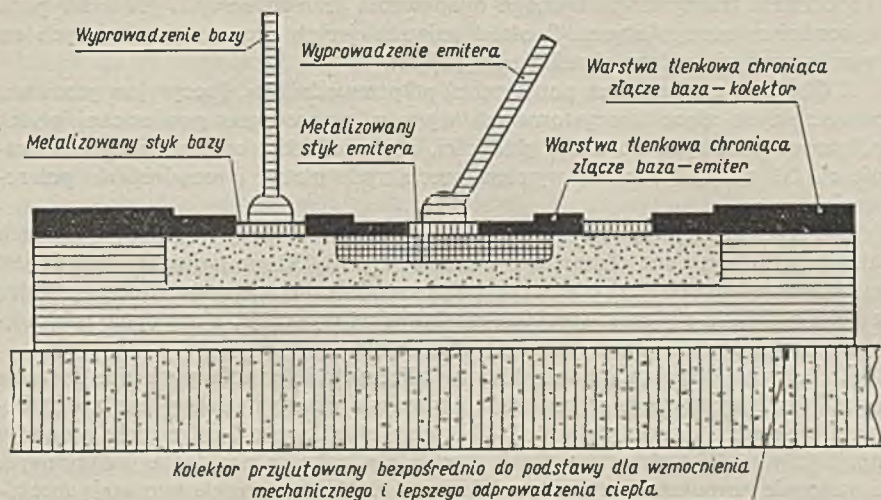
Technologia stopowa polega na wprowadzeniu dozowanych domieszek do określonych obszarów płytek półprzewodnika i tworzeniu lokalnych stopów półprzewodnika z domieszką w podwyższonych temperaturach (dla germanu zazwyczaj około 550°C, dla krzemu zazwyczaj 600—1000°C). Dalsze udoskonalenie technologii — to otrzymywanie złącz dyfuzyjnych, co stanowi podstawę nowoczesnych procesów produkcyjnych tranzystorów „Mesa”. Technologia ta polega na wprowadzeniu domieszek do płytek półprzewodnika drogą dyfuzji ze stanu lotnego. Dzięki tej technologii można uzyskać w sposób powtarzalny warstwy o określonym typie półprzewodnictwa o grubościach rzędu 1 μm , co jest szczególnie ważne w budowie tranzystorów pracujących w obwodach o bardzo wielkiej częstotliwości.

Również bardzo korzystna dla tranzystorów pracujących na bardzo wielkie częstotliwości jest technologia złącz elektrochemicznych, polegająca na strumieniowym wytrawianiu wgłębień w płytkach półprzewodnikowych, w których następnie elektrochemicznie osadza się odpowiednią domieszkę. Strumieniowe trawienie płytek pozwala na otrzymanie obszarów, gdzie płytka ma grubość rzędu 0,25 μm .

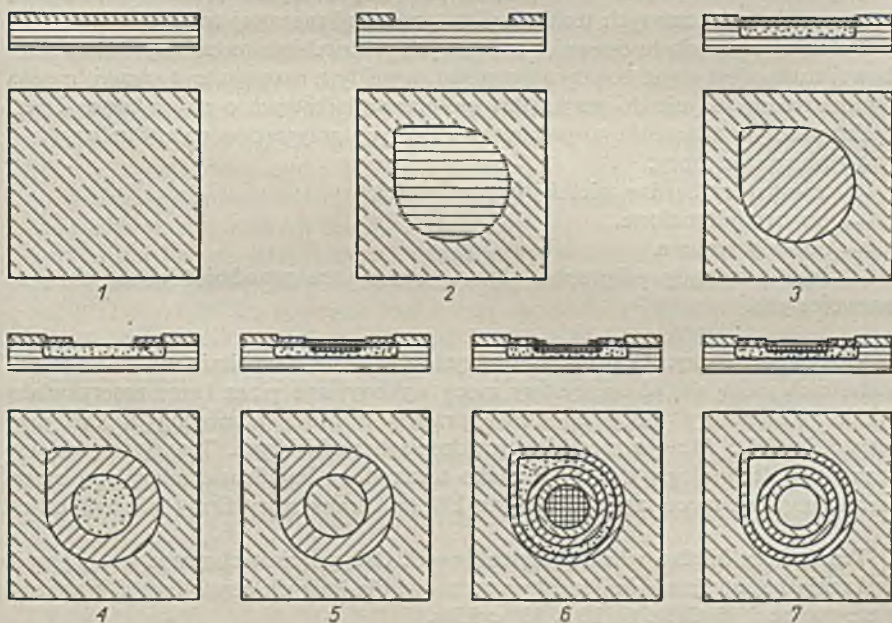
Jedną z najmłodszych technologii otrzymywania złącz jest technologia warstw epitaksjalnych, polegająca na osadzeniu się półprzewodnika z fazy lotnej na podłożu monokrystalicznym. Warstwa epitaksjalna stanowi kontynuację struktury monokrystalicznej podłoża.

Charakterystyczna jest również technologia „planar” stosowana przez firmę amerykańską „Fairchild” w produkcji tranzystorów krzemowych. Przekrój tranzystora otrzymywanego metodą „planar” oraz kolejne fazy procesu technologicznego tej metody zilustrowane są poniżej.

Przedstawione rodzaje technologii dotyczą zasadniczych typów otrzymywania złącz tranzystorowych, przy czym nowoczesne tranzystory wykonywane są często jako kombinacje opisanych technologii.



Przekrój tranzystora wykonanego metodą „planar“



Metoda „planar“ stosowana przez firmę „Fairchild“ — kolejne fazy procesu technologicznego: 1 — płytka krzemowa pokryta ochronną warstwą tlenku, 2 — odkrycie „okna“ wolnego od tlenku, 3 — utworzenie bazy i pokrycie jej nową warstwą tlenkową, 4 — odkrycie na powierzchni bazy nowego okienka, 5 — utworzenie emitera i pokrycie go na nowo tlenkiem, 6 — oczyszczenie od tlenków powierzchni stykowych bazy i emitera, 7 — metalizacja powierzchni stykowych bazy i emitera

Produkcja tranzystorów wymaga opanowania szeregu nowych procesów poza wykonaniem samego złącza. Spośród najważniejszych procesów cechujących się wysoką precyzją należy określić następujące:

1. Obróbka mechaniczna powierzchni półprzewodników. Precyzyjna geometria nowoczesnych złącz tranzystorowych wymaga polerowania powierzchni płytek półprzewodnikowych do takiej gładkości, aby wielkość nierówności była w granicach 0,1 do 0,01 μm , co wymaga specjalnych metod i urządzeń do polerowania.

2. Fotochemiczne metody selektywnego trawienia. Przy małych wymiarach trawionych chemicznie obszarów o wielkości np. $10 \times 30 \mu\text{m}$ najlepszą metodą jest maskowanie określonych obszarów półprzewodnika emulsją światłoczułą, którą z kolei naświetla się przez specjalne maskownice, wywołuje, a następnie odsłonięte obszary półprzewodnika trawi się chemicznie.

3. Technika napyłania kontaktów metalicznych i termokompresyjne łączenie kontaktów. Występujące w konstrukcji tranzystorów styki elektryczne z określonymi obszarami struktury złącza P—N muszą mieć często bardzo małe wymiary; np. $1 \times 5 \mu\text{m}$. W tych przypadkach stosuje się technikę napyłania próżniowego, a następnie termokompresyjne łączenie styków. Obie te operacje wymagają specjalnej aparatury, jak np. napyłarek próżniowych o próżni 10^{-6} — 10^{-7} Tr oraz wysokiej precyzji urządzenia do termokompresji. -

Uzyskanie umiejętności w wykonaniu powyższych czynności stanowi podstawę opanowania nowoczesnych technologii w produkcji masowej tranzystorów.

Dokonując przeglądu osiągnięć światowych w dziedzinie techniki półprzewodnikowej trudno jest objąć bogaty asortyment, wynikły z rozwoju tej techniki; można ograniczyć się jedynie do przyrządów półprzewodnikowych o największym i perspektywnym znaczeniu gospodarczym. Do tych przyrządów należy zaliczyć:

- tranzystor mocy,
- tranzystory bardzo wielkiej częstotliwości,
- przyrządy tunelowe,
- obwody scalone,
- inne przyrządy półprzewodnikowe, stanowiące przedmiot obecnych prac rozwojowych.

Tranzystory mocy. Za przykład tranzystorów mocy o wybitnie szczytowych parametrach mogą służyć tranzystory mocy wykonywane przez firmę amerykańską RCA. Tranzystory mocy tej firmy pracują z mocą admisyjną 1 kW przy częstotliwości 5 Mc/s w morskich urządzeniach nadawczych. Tranzystory te wykonane są technologią dyfuzyjną. Jako tranzystory impulsowe mogą one osiągnąć w impulsie moce rzędu kilkunastu kW (np. tranzystory firmy Westinghouse).

Tranzystory bardzo wielkiej częstotliwości. Osiągnięcia techniczne w tej grupie wskazują na uzyskanie już dziś tranzystorów, dla których częstotliwość graniczna pracy wynosi 10 GHz, tj. 10×10^9 cykli/s.

Częstotliwość tego rzędu określa długość fali kilku centymetrów, co oznacza, że tranzystory o powyższej częstotliwości granicznej mogą pracować w układach o stałych rozłożonych, w których stosowane są falowody. Dlatego tranzystory o częstotliwościach tego rzędu montuje się w obudowach koncentrycznych, specjalnie przydatnych do współpracy z falowodami. Technologia, wg której tranzystory

powyższe są wykonywane, jest kombinacją wszystkich najbardziej nowoczesnych technologii. Tranzystory na bardzo wielkie częstotliwości najczęściej obecnie wykonuje się wg technologii planarnej z zastosowaniem warstw epitaksjalnych. Technologia ta, zwana również epiplanarną, umożliwiając otrzymanie tranzystorów na bardzo wielkie częstotliwości, jest jednocześnie technologią uniwersalną, dzięki której wykonuje się szeroki asortyment przyrządów półprzewodnikowych.

W grupie tranzystorów bardzo wielkiej częstotliwości zmiennym osiągnięciem jest fakt, że w krajach o przodującej technice produkuje się obecnie seryjnie tranzystory o mocach rzędu kilkuset wat, i o częstotliwościach rzędu kilku Mc/s, jak również tranzystory o częstotliwościach granicznych rzędu kilkuset Mc/s i mocach kilku wat.

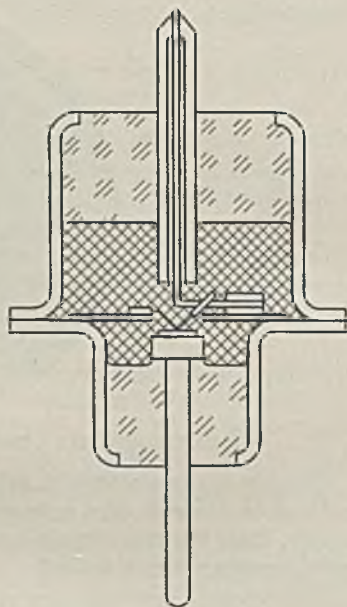
Przyrządy tunelowe. Rozwój badań w zakresie diod półprzewodnikowych doprowadził do opracowania diody tunelowej o specyficznej charakterystyce prądowo-napięciowej. Znaczenie diody tunelowej polega na tym, że jej charakterystyka wykazuje w określonym zakresie napięcia nachylenie ujemne, co jest równoznaczne z wykazywaniem przez diodę oporności ujemnej, która może być wykorzystana do generacji, wzmacniania itd. Jedną z najbardziej charakterystycznych cech diod tunelowych jest bardzo szeroki zakres temperatury, w którym dioda wykazuje oporność ujemną. Diody krzemowe zachowują oporność ujemną w zakresie od -270°C do $+400^{\circ}\text{C}$; podobnie zachowują się diody z arsenku galu, a dla diod germanowych maksymalna temperatura pracy wynosi $+200^{\circ}\text{C}$.

Diody tunelowe potrzebują bardzo małych mocy zasilania, wzmacniają i generują drgania elektryczne przy poziomie mocy od kilku μW w porównaniu z kilku mW dla tranzystorów.

Dioda tunelowa może również pracować jako bistabilny przełącznik i element urządzenia pamięciowego. Dalsze zastosowania — to układy liczące, układy logiczne, w których diody tunelowe często współpracują z diodami i tranzystorami konwencjonalnymi.

Prowadzone dalsze prace badawcze poszerzają stale zakresy zastosowań diod tunelowych, pozwalając na otrzymywanie coraz lepszych parametrów. Obecnie w wielu firmach zagranicznych opanowano technologię seryjnej produkcji diod tunelowych.

Interesującą nowością jest również wiadomość o wykonaniu szeregu prototypów triod tunelowych zwanych także tranzystorami tunelowymi. Tranzystory te mogą stać się w przyszłości silną konkurencją dla zwykłych tranzystorów.



Obudowa koncentryczna tranzystorów bardzo wielkiej częstotliwości

Obwody scalone. Dalszy rozwój techniki półprzewodnikowej prowadzi do zastosowania obwodów scalonych. Obwody te stanowią zespoły elementów elektronicznych (oporniki, cewki indukcyjne i kondensatory), nałożone (przez naparowanie w próżni) na jedną płytkę półprzewodnikową.



Mikromoduł jako obwód scalony na płytce półprzewodnikowej

Obwody scalone stanowią dalszy postęp w miniaturyzacji sprzętu elektronicznego, prowadząc do jego mikrominiaturyzacji; świadczy o tym następujące zestawienie, które ilustruje stopnie koncentracji elementów elektronicznych, uzyskiwane przy pomocy różnych technik.

STOPNIE KONCENTRACJI ELEMENTÓW ELEKTRONICZNYCH

Rodzaj elementów elektronicznych	Liczba elementów na 1 dcm ³
Lampy i podzespoły normalne	50
Lampy miniaturowe, podzespoły normalne	250
Lampy subminiaturowe, podzespoły miniaturowe	400
Tranzystory, podzespoły subminiaturowe	1 200
Obwody scalone	1 250 000

Inne cechy charakterystyczne obwodów scalonych — to znaczne zwiększenie odporności mechanicznej, skrócenie przewodów doprowadzeniowych oraz znaczne uproszczenie montażu sprzętu elektronicznego. Obwody scalone znajdują już zastosowanie w złożonych urządzeniach elektronicznych, np. w maszynach matematycznych, które budowane w oparciu o tę technikę stanowią tzw. „trzecią generacją” w rozwoju maszyn matematycznych. Według tej techniki budowane są w laboratoriach światowych pierwsze maszyny matematyczne.

Należy podkreślić, że technologia obwodów scalonych jest zbliżona do technologii tranzystorów epiplanarnych.

Inne przyrządy półprzewodnikowe. W tej grupie należy wspomnieć o szeregu innych nowych przyrządów półprzewodnikowych, które stanowią najnowsze rozwiązania i znajdują zastosowania w dalszej perspektywie rozwoju sprzętu elektronicznego. Do takich należą, przyrządy półprzewodnikowe, jak kryosar i kryozystor, powstałe w wyniku wykorzystania zjawisk występujących w półprzewodnikach w niskich temperaturach.

Duże również nadzieje roszą prace nad wykorzystaniem zjawisk występujących w półprzewodnikach pod działaniem silnych pól magnetycznych.

Rozwój ilościowy produkcji przyrządów półprzewodnikowych na świecie

O dynamice rozwoju produkcji półprzewodników świadczą dane ilościowe w poszczególnych krajach, w których technika półprzewodnikowa szczególnie rozwinęła się i wykazuje dalszy wzrost produkcji.

W USA poziom produkcji przyrządów półprzewodnikowych wynosił w 1960 r. około 130 mln szt. W ciągu następnego dziesięciolecia przewiduje się stały wzrost produkcji, tak że w 1970 r. spodziewany jest poziom około 1 miliarda szt, co będzie stanowiło około 5 szt. na jednego mieszkańca.

Podobną dynamikę wzrostu produkcji wykazuje przemysł japoński, a potwierdzają to następujące dane, dotyczące produkcji tranzystorów w Japonii:

Rok	1960	1961	1962	1963	1964
Produkcja tranzystorów w mln szt.	127	178	234	282	314

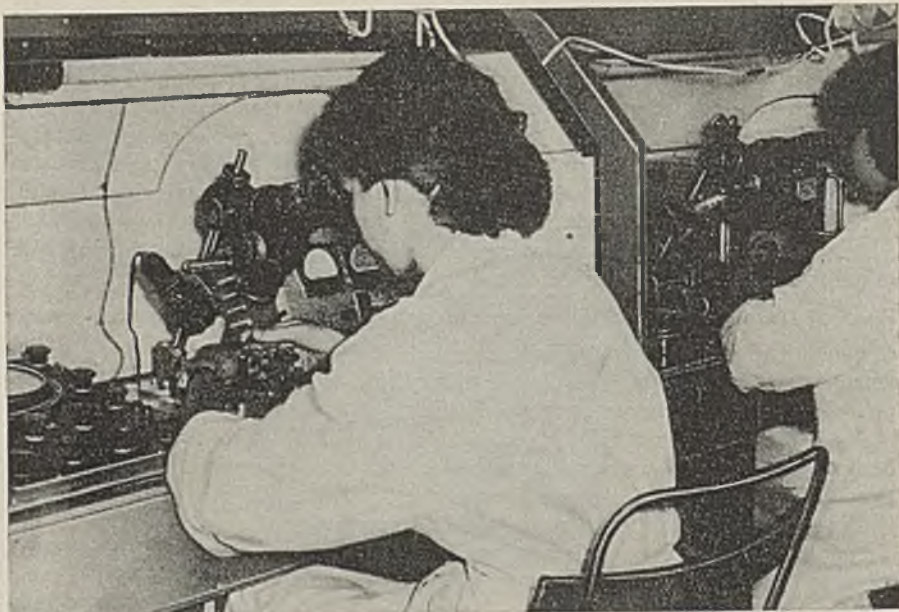
Wraz z rozwojem ilościowym następuje poważny spadek średniej ceny tranzystorów (w okresie trzech lat średnio o około 25%).

Z innych krajów kapitalistycznych znamienne są dane o produkcji przyrządów półprzewodnikowych w Anglii i NRF, gdzie produkcja i jej tempo rozwoju kształtuje się na podobnym poziomie. W 1961 r. produkcja przyrządów półprzewodnikowych w każdym z tych krajów wynosiła ponad 50 mln szt. W następnej kolejności można wymienić przemysł francuski oraz włoski, w których produkcja przyrządów półprzewodnikowych rozwinęła się nieco później. W przemyśle francuskim produkcja ta w 1960 r. była na poziomie 10 mln szt. Obecnie francuski przemysł półprzewodnikowy rozwija się bardzo dynamicznie i jest mocno uprzywilejowany w nakładach inwestycyjnych w stosunku do pozostałych grup wyrobów przemysłu elektronicznego, o czym świadczy fakt, że stosunek wielkości nakładów inwestycyjnych do całkowitych obrotów w grupie przyrządów półprzewodnikowych jest dwukrotnie większy niż przeciętna dla całego przemysłu elektronicznego.

Przedstawione dane liczbowe o rozwoju ilościowym techniki półprzewodnikowej na świecie nie ilustrują w pełni stanu na tym odcinku, gdyż brak opublikowanych danych uniemożliwia przedstawienie dynamiki rozwojowej poszczególnych krajów w omawianym zakresie.

Dotychczasowy rozwój techniki półprzewodnikowej w Polsce

W Polsce badania nad półprzewodnikami zostały zapoczątkowane w 1947 r. studiami z zakresu zjawisk fotoelektrycznych w półprzewodnikach w ramach prac Katedry Elektroniki i Radiologii Uniwersytetu Warszawskiego. Intensywne prace badawczo-eksperymentalne datują się dopiero od lat 1953—1954, przy czym w pracach tych wyróżniały się wówczas takie placówki naukowo-badawcze PAN, jak Instytut Fizyki, Instytut Podstawowych Problemów Techniki.



Jedna z operacji technologicznych tranzystora wykonywana pod mikroskopem w Fabryce „TEWA”

Wynikiem tych prac było między innymi skonstruowanie w IPPT pierwszych polskich tranzystorów ostrzowych i warstwowych. Wdrożenie prac badawczych IPPT rozpoczął w 1954 r. Zakład Doświadczalny Instytutu Łączności. W ramach przemysłu prace nad półprzewodnikami podjął również Przemysłowy Instytut Elektroniki, organizując u siebie eksperymentalny ośrodek przyrządów półprzewodnikowych. Ośrodek ten w 1956 r. zorganizował wewnątrz PIE na terenie Warszawy Zakład Doświadczalny Półprzewodników. Zakład ten już w 1957 r. wyprodukował kilkaset tysięcy diod germanowych. W tym samym roku równoległy ośrodek doświadczalny Instytutu Łączności uruchomił małoseryjną produkcję diod ostrzowych, diod warstwowych, fotodiod oraz produkcję doświadczalną w ilości 10 000 szt. tranzystorów warstwowych.

Z Zakładu Doświadczalnego PIE w 1958 r. powstało samodzielne przedsiębiorstwo „PEWA”, specjalizujące się w produkcji diod półprzewodnikowych. Równolegle zorganizowane zostało w Warszawie na Służewcu — na bazie ośrodka doświadczalnego Instytutu Łączności oraz fachowej kadry PIE — drugie przedsiębiorstwo specjalizujące się w produkcji tranzystorów.

W 1961 r. nastąpiło połączenie obu przedsiębiorstw w jedno pod nazwą Fabryka Półprzewodników „TEWA” o następującym profilu: produkcja diod, tranzystorów, germanu i krzemu monokrystalicznego, mierników i urządzeń do produkcji przyrządów półprzewodnikowych.

Dalszym istotnym momentem w rozwoju przemysłu półprzewodnikowego w Polsce było powstanie w 1961 r. przy Fabryce Półprzewodników „TEWA” Biura Naukowo-Badawczego i Konstrukcyjnego Półprzewodników, którego zadaniem jest opracowywanie nowych asortymentów przyrządów półprzewodnikowych i stopniowe wdrażanie ich do seryjnej produkcji.

Fabryka Półprzewodników „TEWA” opanowała dotychczas dość szeroki wachlarz asortymentów, a mianowicie:

1. Diody ostrzowe germanowe typu DOG 31, DOG 52—53, DOG 61.
2. Dioda ze złotym ostrzem typu DOG 101.
3. Diody złączowe germanowe typu DZG 1—7.
4. Diody germanowe mocy typu DMG 1, DMG 4.
5. Tranzystory germanowe małej mocy, małej częstotliwości typu TG 1—6 i TG 9.
6. Tranzystory germanowe małej mocy, podwyższonej częstotliwości typu TG10—20, TG 40.
7. Tranzystory podwyższonej mocy typu TG 50—55.
8. Tranzystory mocy typu TG 70—72.
9. Fotodioda typu FG 2.

Rysunek na str. 544 obrazuje wachlarz asortymentowy przyrządów półprzewodnikowych produkowanych w Fabryce „TEWA”.

Biuro Naukowo-Badawcze opracowuje obecnie szereg nowych przyrządów półprzewodnikowych, których seryjna produkcja ma być uruchomiona w roku 1965. Są to między innymi diody krzemowe napięciowe, diody mocy, tranzystory stopowo-dyfuzyjne oraz tranzystory „Mesa” germanowe i krzemowe. Rozwój ilościowy produkcji przyrządów półprzewodnikowych w Polsce w latach 1957—1964 kształtuje się następująco:

Rok	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
mln szt.	0,3	1,2	1,6	2,6	3,8	5,4	6,6	6,7

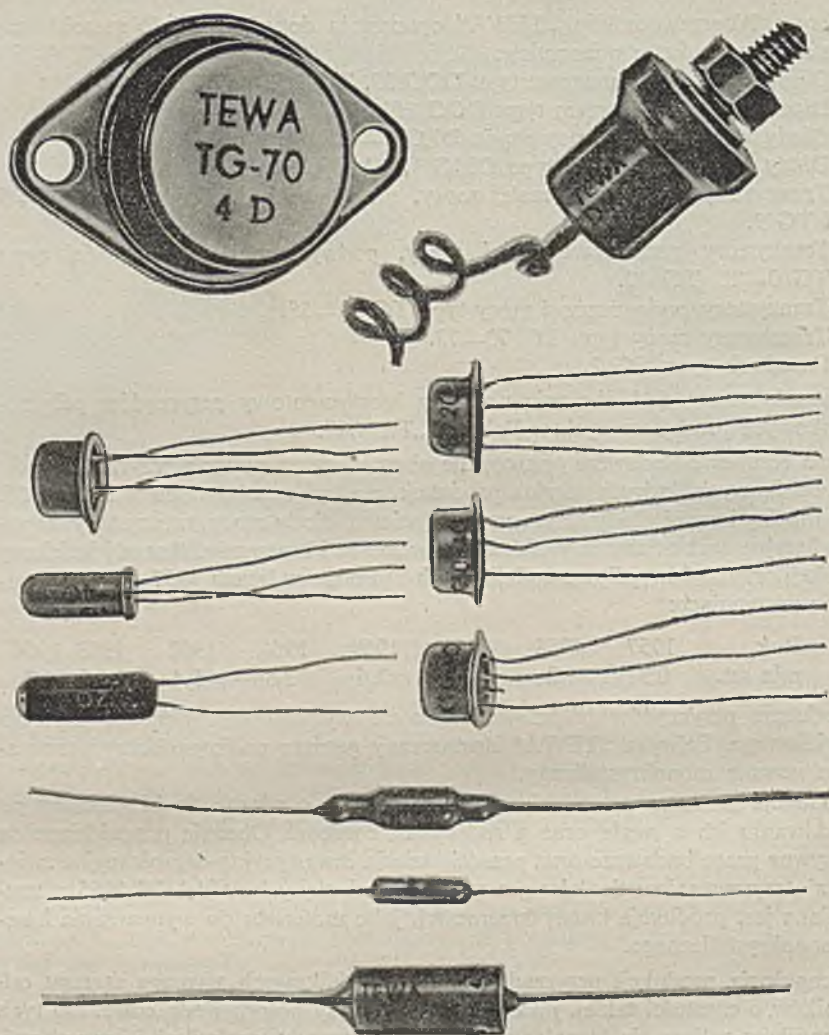
Produkcja przyrządów półprzewodnikowych wymaga specyficznego zaplecza materiałowego. Fabryka „TEWA” dostarcza german polikrystaliczny przetwarzany na german monokrystaliczny.

Produkcja germanu przewidziana jest w oparciu o własne tlenki germanu po odzyskiwaniu ich z węgla oraz z rud cynku i miedzi. Obecnie przewidziane są intensywne prace badawcze oraz przedsięwzięcia inwestycyjno-organizacyjne związane z otrzymaniem tlenków germanu z wymienionych źródeł. W 1965 r. uruchamiana jest produkcja krusty krzemowej, jako materiału do wytwarzania krzemu monokrystalicznego.

Technologia produkcji przyrządów półprzewodnikowych wymaga szeregu odczynników o czystości takiej, jaka cechuje materiały półprzewodnikowe. Do tych odczynników zalicza się kwas solny i azotowy, zasady, perhydrol i inne chemikalia. Potrzebny jest również wysokogatunkowy grafit oraz kwarc o wysokiej czystości na tygle do monokrystalizacji. Produkcja niektórych tych związków, jak kwas solny i azotowy o pożądanej czystości, jest już opanowana.

Rozwój bazy surowcowej oraz produkcji przyrządów półprzewodnikowych, opartych na krajowych materiałach, tj. na germanie i krzemie, jest przedmiotem kompleksowego programu działania w tym zakresie, który określiła specjalnie wydana w tym celu w lipcu 1961 r. Uchwała KERM.

Zapleczem naukowo-badawczym dla techniki i produkcji materiałów i przyrządów półprzewodnikowych są również niektóre placówki naukowe PAN oraz wyższych uczelni technicznych. Do nich należą przede wszystkim Instytut Fizyki oraz Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN. Instytut Fizyki prowadzi



Fotodioda, dioda i tranzystory produkowane w Fabryce „TEWA“

badania podstawowe nad zjawiskami w półprzewodnikach oraz czyni poszukiwania nowych materiałów półprzewodnikowych.

Instytut Podstawowych Problemów Techniki prowadzi prace nad technologią wytwarzania materiałów i przyrządów półprzewodnikowych oraz wykonuje krótkie serie opracowanych przez siebie przyrządów.¹⁾

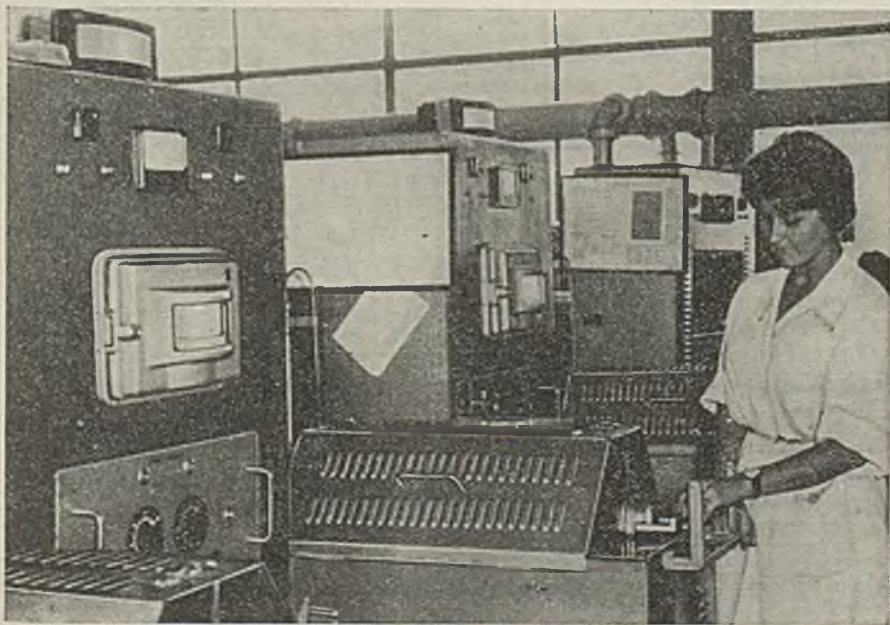
¹⁾ Instytut ten opracował model tranzystorów w technologii „Mesa“, które obecnie są wdrażane do produkcji na skalę przemysłową w Fabryce „TEWA“.

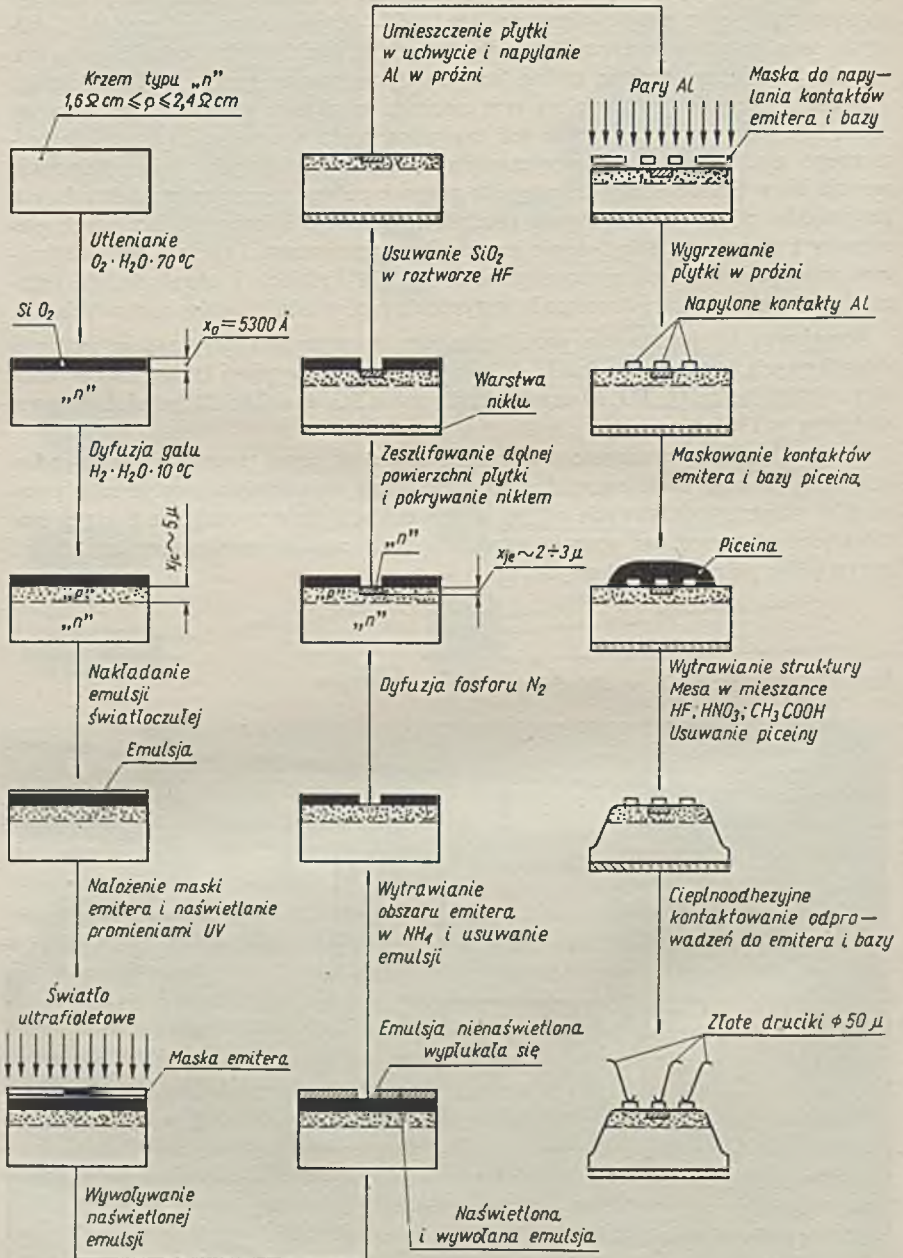
Podając dotychczasowe osiągnięcia w zakresie opanowania produkcji szeregu asortymentów oraz znając plany na lata 1965—66 uruchomienia produkcji dalszych asortymentów przyrządów półprzewodnikowych można ocenić, w jakim stopniu i w jakim okresie realna jest tranzystoryzacja sprzętu elektronicznego w Polsce. Oceniając sytuację na tym odcinku w okresie lat 1962—1964 należy stwierdzić, że mimo istniejących już zagranicą wielu aparatów i sprzętu elektronicznego zbudowanego na przyrządach półprzewodnikowych, tranzystoryzacja rozwija się w Polsce powoli ze względu na brak pełnego asortymentu potrzebnych przyrządów półprzewodnikowych produkcji krajowej, a import brakujących elementów z uwagi na deficyt dewiz jest bardzo ograniczony. I tak np. brak dotychczas tranzystorów wielkiej częstotliwości dla fal krótkich i ultrakrótkich, uniemożliwiał pełne stranzystorowanie wszystkich typów odbiorników radiowych.

Poważnym uzupełnieniem produkowanego asortymentu przyrządów półprzewodnikowych jest wprowadzenie do produkcji wielkoseryjnej tranzystorów wielkiej częstotliwości, tj. TG 40 oraz tranzystorów TG 41 i TK 10 (produkcja przewidziana w 1965 r.).

Wymienione typy tranzystorów umożliwiają więc pełną tranzystoryzację radioodbiorników oraz częściowo telewizorów. Dalsze rozszerzenie asortymentu przyrządów półprzewodnikowych o typy stosowane w Polsce w budowie maszyn matematycznych umożliwi oparcie produkcji tych maszyn na krajowej produkcji przyrządów półprzewodnikowych.

Suszenie tranzystora — produkcja w Fabryce „TEWA“





Schemat ideowy technologii i konstrukcji tranzystora krzemowego TK-10

Efekty techniczno ekonomiczne zastosowania techniki półprzewodnikowej w sprzęcie elektronicznym

Rozwój elektroniki półprzewodnikowej — opracowanie i uruchomienie produkcji szerokiego asortymentu przyrządów półprzewodnikowych prostujących, wzmacniających, generacyjnych i innych stwarza podstawy do tranzystoryzacji sprzętu elektronicznego. Tranzystoryzacja, która przede wszystkim polega na zastąpieniu w układach elektronicznych lamp elektronowych przez przyrządy półprzewodnikowe (tranzystory i diody krystaliczne) stanowi obecnie kierunek w modernizacji sprzętu elektronicznego. Zamiana taka wymaga przekonstruowania układów oraz innego doboru pozostałych elementów, jak kondensatory, oporniki itd. oraz z reguły obniżenie napięcia pracy układów.

Pozostaje natomiast bez zmiany funkcja układów pracujących np. jako wzmacniacz, generator, modulator itp. Dzięki zastosowaniu przyrządów półprzewodnikowych powstało również szereg zupełnie nowych układów, rozwiązujących nowe problemy elektroniki.

Potrzeba tranzystoryzacji sprzętu elektronicznego powstała wraz z wymaganiami stawianymi temu sprzętowi.

Wymagania te mają dwojaki charakter:

- techniczno-eksploatacyjny
- ekonomiczny.

Lampy elektronowe w normalnym wykonaniu nie są w stanie sprostać wszystkim wymogom nowoczesnej techniki. Ciekawe jest porównanie najbardziej typowych przedstawicieli obu grup, tzn. tranzystora i lampy podstawowej jako triody czy pentody. Wynik tego porównania jest następujący:

Tranzystory odznaczają się:

- wyższą sprawnością energetyczną, wynikającą z braku obwodu żarzenia, potrzebą niskiego napięcia zasilania oraz małego poboru mocy ze źródła,
- natychmiastowym działaniem, w przeciwieństwie do lamp elektronowych, wymagających pewnego czasu na rozżarzenie katody i uzyskanie emisji,
- wysoką niezawodnością i trwałością, którą ocenia się na przeszło 100 000 godzin. Lampy wykazują średnio żywotność kilka tysięcy godzin, a niektóre typy jako lampy długowieczne osiągają żywotność do 20 000 godz. Należy zaznaczyć, że liczba 100 tys. godzin jest szacunkowa, gdyż za mały jest okres stosowania tranzystorów, aby znalazła ona swe praktyczne potwierdzenie,
- małymi wymiarami i małym ciężarem,
- znacznie wyższą odpornością na wstrząsy (do 50 000 g).

Do wad przyrządów półprzewodnikowych należy zaliczyć:

- dużą zależność parametrów od temperatury, zwłaszcza dla przyrządów germanowych,
- wyższy na ogół współczynnik szumów własnych,
- mniejsze wzmocnienie na stopień,
- wyższa cena,
- rozrzut parametrów elektrycznych w produkcji seryjnej tego samego typu przyrządu półprzewodnikowego.

Wśród wymienionych wad do przejściowych należy niekiedy wyższa cena w porównaniu z ceną lamp elektronowych. Dalszy rozwój ilościowy oraz podnie-

sienie poziomu technologicznego montażu przyrządów półprzewodnikowych aż do automatycznego włącznie zapewni szybsze obniżenie cen, aniżeli w przypadku lamp elektronowych. Również stosowanie coraz bardziej nowoczesnych technologii i materiałów w decydujący sposób wpłynie na dalsze jakościowe podniesienie parametrów przyrządów półprzewodnikowych.

Powyższe dodatnie cechy tranzystorów i diod wpływają bardzo korzystnie na cechy układów tranzystorowych w porównaniu z układami lampowymi. Wystarczy wymienić kilka z tych cech, a mianowicie:

- wysoka sprawność energetyczna,
- zmniejszona objętość; w niektórych przypadkach zmniejszenie to wynosi 80%,
- zmniejszony ciężar,
- wysoka niezawodność, wynikająca nie tylko z wyeliminowania zawodnych lamp, ale również i z faktu, że dzięki wysokiej sprawności w układzie wydzielą się znacznie mniej ciepła i temperatura wewnątrz urządzenia jest średnio o kilkadziesiąt stopni niższa, aniżeli w przypadku zastosowania w układach lamp elektronowych.

Warunki termiczne wpływają dodatnio na niezawodność pozostałych elementów układu.

Dzięki powyższym zaletom układy tranzystorowe znajdują coraz szersze zastosowanie w radiotechnice, telewizji, sprzęcie wojskowym, maszynach matematycznych itp.

Wysoka sprawność przyrządów półprzewodnikowych przemawia za stosowaniem ich w energetycznych urządzeniach zasilających, jak prostowniki mocy budowane obecnie na diodach germanowych i krzemowych, w elektrycznych układach napędowych oraz w sprzęcie elektronicznym powszechnego użytku, jak radioodbiorniki i telewizory.

Oprócz wysokiej sprawności diody półprzewodnikowe w urządzeniach zasilających cechują również inne zalety, jak dobry współczynnik mocy $\cos \varphi$, małe wymiary zewnętrzne oraz większa pewność pracy w czasie eksploatacji. Powyższe cechy decydują o rosnącym zastosowaniu układów półprzewodnikowych zamiast dotychczasowych rozwiązań, jak np. prostowniki rtęciowe czy układ Leonarda w napędach elektrycznych. Zalety tych urządzeń dają następujące korzyści ekonomiczne: przy tej samej mocy użytecznej zmniejszenie poboru mocy czynnej z sieci, które w zależności od rodzaju układów zasilających wynosi od 8 do 10%, zmniejszenie poboru mocy biernej oraz korzyści eksploatacyjne, wynikające ze zwiększenia pewności ruchu.

Wymienione główne efekty ekonomiczne, obliczone w liczbach odnoszących się do poszczególnych układów zasilających, dają w skali gospodarki ogólnokrajowej poważne oszczędności mocy zainstalowanej w elektrowniach.

Tranzystoryzacja elektronicznego sprzętu rynkowego z uwagi na powszechność jego użytkowania jest również ekonomicznie uzasadniona. Świadczy o tym następująca szczegółowa analiza. Przeciętny odbiornik radiowy typu stołowego po pełnym stranzystorowaniu pobiera moc z sieci około 10 W, podczas gdy w wykonaniu lampowym pobór mocy jest około 50 W, stranzystorowany odbiornik telewizyjny zmniejsza pobór mocy przeciętnie ze 180 do 50 W. To poważne zmniejszenie poboru mocy z sieci elektrycznej po stranzystorowaniu odbiorników

radiowych i telewizyjnych — z uwagi na wielką ich ilość w eksploatacji — będzie miało poważny wpływ na zmniejszenie inwestycji związanych z powiększaniem mocy zainstalowanej w elektrowniach, a przewidzianych w związku z rozwojem radia i telewizji w kraju.

Tranzystoryzacja odbiorników radiowych i telewizyjnych w oparciu o przyrządy półprzewodnikowe krajowej produkcji jest przedmiotem planowej rekonstrukcji tych wyrobów w okresie następnego planu pięcioletniego. Zgodnie z obecnymi założeniami w 1968 r. 80% rocznej produkcji odbiorników radiowych będzie w pełni stranzystorowanych, a tranzystoryzacja odbiorników telewizyjnych będzie wprowadzana stopniowo i osiągnie taki poziom, że w 1970 r. 50% produkowanych odbiorników telewizyjnych będzie częściowo lub całkowicie zbudowanych na przyrządach półprzewodnikowych.

Jak więc wynika z powyższych założeń, tranzystoryzacja odbiorników będzie miała charakter masowy i można dla późniejszego okresu obliczać efekty ekonomiczne dla gospodarki narodowej wynikające z powyższej tranzystoryzacji. Obliczając te efekty w odniesieniu do zmniejszenia mocy zainstalowanej w elektrowniach należy stwierdzić, że 1 mln sztuk odbiorników radiowych i 1 mln sztuk telewizorów po stranzystorowaniu oddane do eksploatacji wymagają przyrostu mocy zainstalowanej nie 115 MW, jak w przypadku zastosowania w odbiornikach techniki lampowej, lecz tylko 30 MW. Zakłada się w powyższych obliczeniach, że współczynnik równoczesności korzystania z odbiornika radiowego i telewizyjnego wynosi 0,5. Powyższe obliczenie wykazuje efekt oszczędnościowy w inwestycjach elektrowni wynoszący około 340 mln zł na każdy milion szt. odbiorników radiowych i milion szt. odbiorników telewizyjnych oddanych po stranzystorowaniu do eksploatacji. Do powyższych obliczeń przyjęto, że koszt 1 MW mocy zainstalowanej w elektrowni wynosi 4 mln zł. Należy równocześnie zaznaczyć, że drugim efektem oszczędności wynikłej z tranzystoryzacji odbiorników radiowych i telewizyjnych jest zmniejszenie kosztów na pobór energii elektrycznej do ich zasilania. Zmniejszenie to dla użytkownika wynosi średnio około 75% w porównaniu do odbiorników wykonanych w technice lampowej.

Powyższa analiza wykazuje niezbicie celowość i pilność opanowania produkcji odpowiedniego wachlarza asortymentów przyrządów półprzewodnikowych, stanowiących podstawę omawianej tranzystoryzacji, a niezbędne nakłady inwestycyjne na stworzenie w kraju wymaganej bazy produkcji materiałów i przyrządów półprzewodnikowych już przy rozpatrywaniu tranzystoryzacji sprzętu rynkowego są w pełni ekonomicznie uzasadnione, niezależnie od szeregu innych czynników, które również potwierdzają i uzasadniają konieczność szybkiego rozwoju jakościowego i ilościowego techniki półprzewodnikowej w kraju.

Węzłowe zagadnienia dalszego rozwoju techniki półprzewodnikowej w Polsce

Z przedstawionego materiału informacyjnego określającego ogólnie stan światowej oraz krajowej techniki półprzewodnikowej wynika, że w technice półprzewodnikowej dzieli nas duży dystans w stosunku do poziomu światowego. Ten stan rzeczy znajduje również odbicie w poziomie ilościowym krajowej produkcji przyrządów półprzewodnikowych.

Znając na tle rozwoju techniki półprzewodnikowej światowe osiągnięcia w zakresie zastosowania przyrządów półprzewodnikowych w sprzęcie elektronicznym i wynikające stąd korzyści techniczne i ekonomiczne, bezsporny staje się problem przyspieszenia w Polsce dotychczasowego tempa rozwoju techniki półprzewodnikowej. Zwiększenie tempa rozwoju techniki i produkcji przyrządów półprzewodnikowych w kraju zależne jest od szybkiego rozwiązania kilku węzłowych zagadnień w przemyśle półprzewodnikowym, a mianowicie:

Na obecnym etapie rozwoju techniki półprzewodnikowej zagadnieniem pierwszej wagi jest stworzenie bazy produkcji urządzeń technologicznych, nastawionej na konstrukcję i wykonawstwo tych urządzeń w kraju.

Jak wynika z omawianych uprzednio technologii, nowoczesna technika półprzewodnikowa wymaga specjalnych i precyzyjnych obrabiarek, skomplikowanych stabilizowanych pieców na temperatury powyżej 1300°C, wysokopróżniowych stanowisk do napyłania (próżnia 10^{-7} Tr), wysoce precyzyjnych urządzeń do montażu (urządzenia do termokompresji), komór klimatycznych, mikroskopów, mierników wielkiej częstotliwości i innych. Wymienione urządzenia i aparatura — oprócz mikroskopów — nie są dotychczas produkowane w kraju. Zakładem, który najbardziej jest predestynowany do produkcji tych urządzeń jest odpowiedni oddział Fabryki Półprzewodników „TEWA” w Warszawie. Fabryka ta, w przewidywaniu swych zadań na tym odcinku, w rozbudowie swej, którą obecnie kontynuuje, zaplanowała odpowiednie pomieszczenia na produkcję omawianych urządzeń. Pilne potrzeby Fabryki „TEWA” wymagają jednak w pierwszym okresie także zabezpieczenia pewnych dostaw urządzeń technologicznych.

Drugim węzłowym zagadnieniem wymagającym systematycznego rozwiązania jest skoncentrowanie w przemyśle półprzewodnikowym odpowiedniej ilości wysokokwalifikowanej kadry inżynierów-elektroników, mechaników, fizyków i chemików, którzy mogliby rozwinąć daleko szerszy aniżeli dotychczas front prac badawczych i doświadczalnych, zapewniających rozwiązanie zadań, których wymaga współczesna technika półprzewodnikowa. Dotychczas kontynuowany zakres współpracy przemysłu półprzewodnikowego z placówkami naukowymi PAN i wyższych uczelni, należy bardziej uaktywnić, tak aby proces wdrażania wyników prac naukowych tych placówek w przemyśle był znacznie krótszy.

Obserwując powiązania nauki i techniki z produkcją półprzewodników zagranicą należy podkreślić fakt, że największe światowe osiągnięcia techniki półprzewodnikowej uzyskano w laboratoriach przemysłowych i nadal główny nurt badań w tej dziedzinie w krajach o wysokiej technice jest w ścisłym i bezpośrednim powiązaniu z produkcją przemysłową.

W naszych warunkach realizacja powyższego hasła oznacza kontynuowanie szybszego rozwoju obecnego Biura Naukowo-Badawczego, które utworzone zostało w 1961 r. przy Fabryce „TEWA”. Biuro to, przy zabezpieczeniu mu odpowiednich warunków, mogłoby skupić odpowiednią kadrę pracującą na potrzeby rozwojowe produkcji półprzewodników. Powinno ono bardzo ściśle współpracować z placówkami naukowymi PAN, które prowadzą podstawowe badania w zakresie materiałów i przyrządów półprzewodnikowych oraz ich technologii wytwarzania. Rozwój Biura Naukowo-Badawczego Fabryki „TEWA” powinien przyspieszyć intensyfikację prac w dziedzinie nowoczesnych technologii, zmierzając do opanowania technologii epiplanarnej — po opanowaniu technologii „Mesa”.

Rozwój techniki półprzewodnikowej oznacza stale rozszerzanie asortymentu przyrządów półprzewodnikowych, stosownie do wyłaniających się coraz nowych potrzeb, wynikających z rosnącego zastosowania urządzeń i aparatury elektronicznej w badaniach naukowych, w technice oraz w szeregu dziedzinach życia gospodarczego.

Różnorodność tych przyrządów jest tak wielka, że nawet światowe firmy przemysłu półprzewodnikowego nie produkują pełnego asortymentu. Firmy te są powiązane wielostronnymi umowami, w ramach których zachodzi podział specjalizacyjny.

W naszych warunkach współpracę w dziedzinie techniki półprzewodnikowej można rozszerzyć na cały obóz socjalistyczny przez uwzględnienie jej szerzej w ramach działalności Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej. Ideą tej współpracy powinna być wzajemna pomoc przy opanowywaniu nowych technologii oraz specjalizacja w projektowaniu i produkcji urządzeń technologicznych, służących do produkcji przyrządów półprzewodnikowych. Powyższa specjalizacja umożliwi zwiększenie serii produkcyjnych tych urządzeń, co z kolei obniży koszty jednostkowe oraz przyspieszy wyposażenie linii produkcyjnych w nowoczesne urządzenia technologiczne. Współpraca taka jest już zapoczątkowana w ramach RWPG oraz dwustronnych umów naszego przemysłu z przemysłem NRD oraz ČSRS.

Rozwój produkcji przyrządów półprzewodnikowych wymaga równoległego rozwoju krajowej bazy materiałów półprzewodnikowych, głównie germanu i krzemu. Realizacja zadań przemysłu chemicznego w zakresie produkcji krzemu polikrystalicznego oraz przemysłu metalurgicznego w zakresie odzysku związków germanu i produkcji germanu powinna być ściśle zharmonizowana z rozwojem produkcji odpowiednich przyrządów półprzewodnikowych. Obecny stan techniki półprzewodnikowej w Polsce oraz dalsze plany rozwojowe techniczno-produkcyjne wskazują na to, że osiągnięcie w kraju obecnego poziomu techniki światowej w tej dziedzinie oraz stworzenie potencjału produkcyjnego zgodnie z rosnącymi potrzebami, wynikającymi z tranzystoryzacji sprzętu elektronicznego, możemy uzyskać dopiero w latach 1967—1968. W tym okresie opanowana będzie najbardziej nowoczesna technologia epitaksjalna i planarna w produkcji przyrządów półprzewodnikowych, nastąpi wyposażenie w urządzenia technologiczne z importu z krajów kapitalistycznych, z własnej bazy produkcyjnej oraz z dostaw w ramach specjalizacji krajów RWPG, jak też uzyskana będzie projektowana moc produkcyjna fabryki przyrządów półprzewodnikowych.

Równocześnie będzie stworzony w kraju odpowiedni potencjał badawczy w dziedzinie obwodów scalonych oraz uzyska się dzięki wymienionej technologii półprzewodników odpowiednie doświadczenie, aby móc w okresie po 1970 r. stopniowo w praktyce rozpocząć wdrażanie techniki obwodów scalonych.

Opanowanie współczesnej techniki półprzewodnikowej w kraju oznacza równocześnie stworzenie podstawy do dalszego rozwoju technicznego poprzez tranzystoryzację nie tylko elektronicznego sprzętu rynkowego, ale również sprzętu profesjonalnego w postaci nowoczesnych środków łączności, elementów automatyki, aparatury pomiarowo-kontrolnej, elektronicznych maszyn matematycznych, energetycznych urządzeń prostowniczych oraz szeregu innych urządzeń o przeznaczeniu specjalnym.

Osiągnięcia nasze w technice półprzewodnikowej będą więc miały bezpośredni wpływ na dalszy rozwój techniki w wielu dziedzinach, decydujących o rozwoju naszej gospodarki narodowej.

Elektroniczne maszyny matematyczne

Wprowadzenie

Elektronika w ostatnich 20 latach — dzięki swemu szybkiemu rozwojowi i rosnącemu zastosowaniu w nauce, technice, w życiu gospodarczym i w wielu innych dziedzinach — wyposaża człowieka w coraz doskonalsze środki techniczne, umożliwiające mu z kolei uzyskanie dalszych osiągnięć w tych dziedzinach. Wśród wielu nowych zastosowań elektroniki na czoło wysuwa się elektroniczna technika obliczeniowa, która przy użyciu urządzeń elektronicznych zwanych maszynami matematycznymi, stała się już obecnie nieodzownym narzędziem pracy człowieka. Zasadnicze cechy elektronicznej techniki obliczeniowej to uniwersalność jej zastosowań, dokładność oraz szybkość obliczeń. Ostatnie lata wykazują dynamiczny rozwój ten nowej techniki, który wynika z konieczności wykonywania coraz trudniejszych i bardziej skomplikowanych obliczeń, zwłaszcza w nowo rozwijających się dziedzinach nauki i techniki, jak np. nukleonika, astronautyka, technika raketowa, automatyka i wiele innych.

Dzięki temu, że w bardzo krótkim czasie można otrzymać za pomocą elektronicznych maszyn matematycznych dokładne rozwiązania szeregu skomplikowanych równań matematycznych, opisujących badane zjawiska, w wielu przypadkach istnieje możliwość zastąpienia badań eksperymentalnych matematycznymi obliczeniami, co z kolei prowadzi do bardzo dużej oszczędności środków materialnych oraz czasu.

Elektroniczne maszyny matematyczne stanowią obecnie nie tylko narzędzia do wykonywania obliczeń matematycznych, znajdują również zastosowanie w takich dziedzinach, jak np. w automatyce procesów technologicznych, w procesie przetwarzania danych dla sprawnego zarządzania, w automatycznym tłumaczeniu z różnych języków, w diagnostyce medycznej, dokumentalistyce i w szeregu innych dziedzinach. Zakres zastosowania tych maszyn, jak z powyższego wynika, nie ogranicza się tylko do samych obliczeń matematycznych, stanowiących jedynie wąski wycinek pracy umysłowej człowieka. Dlatego określenie „maszyny liczące“ lub „matematyczne“ nie oddaje wiernie znaczenia i możliwości tej dziedziny techniki. Bardziej dokładne byłoby określenie „maszyny logiczne“. Dopiero to szerokie pojęcie mogłoby wy tłumaczyć olbrzymie, przełomowe i perspektywiczne znaczenie elektronicznych maszyn matematycznych we współczesnej nauce, technice i życiu gospodarczym.

Znamienną cechą maszyn matematycznych jest to, że łączą one w sobie kompleks zagadnień z różnych dziedzin współczesnej nauki i techniki, jak np. analiza numeryczna, logika matematyczna, elektronika, technika impulsowa, fizyka ciała stałego, mechanika precyzyjna i inne. Rozwój i nowe osiągnięcia w tych dziedzinach są podstawą dalszego nieprzerwanego rozwoju budowy oraz zastosowań elektronicznych maszyn matematycznych..