

Prace Instytutu Technologii Elektronowej CEMI 1988 z. 7 s. 57-120

Jerzy Swoboda,
Jarosław Świderski

Samodzielna Pracownia
Diagnostyczna ITE
Warszawa

KONCEPCJA PROGNOZY
ROZWOJU ELEKTRONIKI PÓŁPRZEWODNIKOWEJ W POLSCE
W LATACH 1989-2010

(Rękopis otrzymano 29 lipca 1988)

S t r e s z c z e n i e

Przedstawiono prognozę opartą na ocenie dotychczasowego opóźnienia Polski w stosunku do poszczególnych rejonów świata. Uznano, że Polska idąc drogą obraną przez Jugosławię ma szansę osiągnąć w 1995 r. obecny poziom techniczny elektroniki półprzewodnikowej w NRD, a ok. 2010 r. obecny poziom techniczny USA i Japonii.

1. Wstęp

Formułowanie przeszło dwudziestoletniej prognozy rozwoju dziedziny rozwijającej się tak szybko jak elektronika półprzewodnikowa może wydawać się zajęciem bezsensownym. Wystarczy przypomnieć, że 20 lat temu nie istniały jeszcze układy scalone wielkiej skali integracji, od których powstania zaczęła się druga rewolucja przemysłowa (por. Raport Klubu Rzymskiego [1]), nie istniały mikroprocesory, wielkie pamięci pół-

przewodnikowe i wszystkie te elementy, które tak radykalnie zmieniają współczesny świat.

Jednak to samo spojrzenie w przeszłość może nas przekonać o pewnej prawidłowości rozwojowej [2]. Nasz kraj podąża w ciągu ostatnich 35 - 40 lat, a więc od początku istnienia omawianej dziedziny, niemal dokładnie tropem krajów wysoko rozwiniętych. Zestawienie najważniejszych dat zawiera tab. 1.

Tabela 1. Porównanie rozwoju elektroniki na świecie i w Polsce

Przedmiot	Świat	Polska
Pierwszy tranzystor	1947/1948	1951/1952
Przemysłowa produkcja tranzystorów	ok. 1950	ok. 1957
Pierwszy układ scalony	1958	1961
Przemysłowa produkcja układów scalonych	ok. 1960	1972
Pierwszy układ scalony LSI	1970	1975
Przemysłowa produkcja układów scalonych LSI	1971	1976
Przemysłowa produkcja mikroprocesora 8-bitowego	1974	1982

Można oczywiście dyskutować nad ścisłością podanych dat, żądać ich przesunięcia o rok lub dwa do przodu albo wstecz, ale faktem pozostanie zawsze wierne powtarzanie wszystkich etapów w odstępach od 3 do 5 lat, jeśli chodzi o prace badawczo-rozwojowe, a w produkcji przemysłowej od 5 lat w okresie największego przyspieszenia do 12 lat w czasie zastoju.

Dopiero całkowite, blisko dziesięcioletnie zaniechanie inwestycji w latach 1977 - 1987 cofnęło nasz kraj w stosunku do czołówki światowej o kilkanaście lat (w 1987 r. musiano praktycznie zaniechać z powodu trudności technicznych produkcji układów wytwarzanych na świecie od 1974 r.). Przewidywane obecnie odwrócenie tego trendu powinno umożliwić uzyskanie w latach 1993/1994 poziomu technicznego produkcji światowej z lat 1976/1977. Ponieważ w latach osiemdziesiątych kraje rozwinięte o potencjale gospodarczym zbliżonym do polskiego miały w stosunku do najbardziej rozwiniętych opóźnienie około 1 roku na każde 2 lata, więc około 2010 r. powinniśmy osiągnąć w elektronice półprzewodników poziom techniczny (mierzony np. złożonością i szybkością działania układów scalonych) taki jak obecnie w Japonii. Pojawienie się nowych, radykalnie sprawniejszych technologii na świecie i znaczny wzrost kultury technicznej naszego społeczeństwa może przyspieszyć przewidywany rozwój o 2 ÷ 4 lat, natomiast dalsze opóźnienie "startu do pogoni" lub nowe trudności gospodarcze mogą spowodować opóźnienie (co wynika z dotychczasowych doświadczeń) nawet o 10 lat. Większe opóźnienie, mogące powodować ogromny spadek (względny i bezwzględny) społecznej wydajności pracy w nie zautomatyzowanej i nie zelektronizowanej gospodarce, oznaczałoby katastrofę.

Z tego, co powiedziano wynika, że jeśli chcemy poznać naszą przyszłość do 2010 r., musimy dokładnie zapoznać się z dzisiejszą sytuacją krajów znajdujących się na różnych etapach rozwoju, a zwłaszcza z sytuacją krajów najwyżej rozwiniętych.

2. Elektronika półprzewodnikowa w dzisiejszym świecie¹⁾

2.1. Przegląd porównawczy (kraje na pośrednich etapach rozwoju)

2.1.1. Kraje RWPG

Poziom techniczny elektroniki półprzewodnikowej w krajach RWPG określają następujące dane:

- układy pamięciowe: zaspokojono zapotrzebowanie na układy 4-kbitowe, produkuje się masowo układy 16-kbitowe, a w niewielkich ilościach 64-kbitowe i w skali laboratoryjnej - 256 kbitowe;

- układy mikroprocesorowe: zaspokojono w większości krajów RWPG zapotrzebowanie na mikroprocesory 8-bitowe, a w niewielkich ilościach są produkowane w ZSRR i NRD mikroprocesory 16-bitowe.

Sytuacja poszczególnych krajów RWPG jest bardzo zróżnicowana [4]. W Bułgarii na szczególne wyróżnienie zasługuje długofalowy program budowy bazy mikroelektronicznej, uaktualniony i konsekwentnie realizowany przynajmniej od połowy lat siedemdziesiątych. Liczący się już na świecie przemysł półprzewodnikowy jest dziś w stanie produkować mikroprocesory 8-bitowe oraz inne układy scalone wykonywane technologią o regułach projektowania 5 μm . W 1986 r. Bułgarzy ogłosili wiadomość o skonstruowaniu prototypu pamięci o pojemności 64 kbitów.

Poziom techniczny Czechosłowacji wyznacza paroletnia (od 1984 r.) produkcja mikroprocesorów 8-bitowych i pamięci 4-kbitowych przy utrzymujących się wciąż trudnościach z uzyskaniem

¹⁾ Dokładne omówienie tego tematu znajduje się w [3].

dobrej niezawodności. Główny ośrodek naukowy w dziedzinie mikroelektroniki, Instytut im. Popowa w Pradze, znacznie większy np. od swego polskiego odpowiednika, reprezentuje poziom pomiędzy Polską i NRD.

NRD jest obecnie po Związku Radzieckim najbardziej zaawansowana wśród krajów RWPG w mikroelektronice. Szacunkowo można ocenić, że przy wytwarzaniu układów scalonych oraz niezbędnych do ich produkcji materiałów i urządzeń pracuje około 2,5 raza więcej ludzi niż w Czechosłowacji i blisko 10 razy więcej niż w Polsce. Poziom techniczny mikroelektroniki NRD wyznacza podjęcie produkcji układów scalonych pamięci 64-kbitowych i długotrwała (od 1983 r.), zaspokajająca całkowicie potrzeby kraju, produkcja mikroprocesorów 8-bitowych. Istnieje tu też najlepiej w krajach RWPG rozwinięta produkcja układów scalonych dla sprzętu powszechnego użytku (spu) oraz elementów optoelektronicznych. W 1987 r. opracowano prototyp pamięci 256-kbitowej i podjęto problematykę układów pamięciowych o pojemności 1 Mbita.

W Rumunii poziom techniczny mikroelektroniki określa produkcja układów scalonych pamięci o pojemności 16 kbitów (polegająca jednak głównie na montażu importowanych struktur).

Węgry specjalizują się głównie w tzw. układach matrycowych, które projektują u siebie, wysyłają wykonane projekty (wraz z maskami) do niektórych firm kapitalistycznych, a następnie wykonane tam struktury wykończają w zakresie ostatnich operacji technologicznych i montują w obudowy.

Związek Radziecki dysponuje w mikroelektronice potencjałem większym niż wszystkie pozostałe kraje RWPG, ale mimo to nie

jest jeszcze w stanie zaspokoić potrzeb własnego rynku. Poziom techniczny wyznacza wielkoseryjne wytwarzanie mikroprocesorów 16-bitowych i pamięci o pojemności 64 kbitów.

Należy podkreślić, że w RWPG praktycznie nikt nie ma tylu układów scalonych (zwłaszcza LSI), aby je sprzedawać, zwłaszcza że sprzedaż gotowych wyrobów zawierających te układy jest znacznie bardziej opłacalna. Odbywa się więc ekwiwalentna wymiana jednych typów układów na inne bądź sprzedaż układów niezbędnych do wmontowania w urządzenia eksportowane do sprzedającego te układy kraju (dotyczy głównie ZSRR).

W dziedzinie podzespołów dyskretnych (diod, tranzystorów, tyrystorów, halotronów), szczególnie przyrządów optoelektronicznych, potencjał krajów RWPG jest ścisłym odzwierciedleniem potencjału w mikroelektronice. I tak np. wyprodukowanie elementów dla częstotliwości roboczych powyżej kilku gigaherców wymaga technologii o regułach projektowania poniżej 3 μm , a więc poza ZSRR może o tym marzyć najwyżej NRD. Różnego typu czujniki, z halotronowymi i tensometrycznymi na czele, są wytwarzane w Bułgarii, NRD i Czechosłowacji w produkcji laboratoryjnej, o czujnikach zintegrowanych z układami scalonymi myślą Bułgarzy (pierwsze konstrukcje w laboratoriach). Klasyczne przyrządy optoelektroniczne (diody elektroluminescencyjne na zakres widzialny i podczerwony, dopasowane do nich fotodetektory, na ogół bez zintegrowanych z nimi układów scalonych, proste transoptory i mozaiki detektorowe) są produkowane na skalę przemysłową tylko w NRD oraz w ZSRR (na własne potrzeby). Czechosłowacja, NRD, Polska i ZSRR prowadzą, a Bułgaria zaczyna prace laboratoryjne nad

nadajnikami i odbiornikami do łączności światłowodowej (szczególnie ważne prace w pasmie długości fali 1,3 μm) i do łączności "otwartej" w podczerwieni, w tym prace nad laserami półprzewodnikowymi i detektorami o bardzo małej bezwładności.

Jugosławia ma również swój udział w pracach RWPG. Wprawdzie nie ma ona zbyt liczącej się elektroniki półprzewodnikowej, ale z punktu widzenia naszej prognozy (przechodziła etapy podobne do polskich, doprowadziła do wymienialności waluty, ma podobny potencjał gospodarczy) warto jest szczegółowo prześledzić zachodzące tam zmiany. Przytoczymy obszerny fragment raportu na temat elektroniki rozpatrywanego m.in. przez parlament jugosłowiański.

"W ostatnich latach nastąpiło zintegrowanie instytutów naukowych i zakładów elektronicznych w republikach: Słowenii, Chorwacji, Serbii i Bośni i wypracowanie m.in. programu rozwoju elektroniki na lata 1986 - 1994 oraz do 2002 r. i określenie niezbędnych nakładów na realizację tego programu, mających służyć zaspokojeniu potrzeb krajowych i stworzeniu warunków do rozwoju eksportu w tej dziedzinie.

Analiza przyczyn nienadążania elektroniki jugosłowiańskiej za rozwojem światowej, prezentowana na sympozjum "MIPRO '85" w Opatii wykazała, iż głównymi przyczynami były:

- brak strategii rozwoju technologii elektronicznej w skali kraju i pozostawienie inicjatyw w tym zakresie poszczególnym zakładom przemysłu elektronicznego;
- brak przepisów prawnych, które mogłyby stymulować rozwój specjalistycznych technologii;
- brak istnienia organów administracyjnych i kompetentnych ekonomicznie - zarówno na szczeblu federacji, jak i republik - śledzących rozwój technologii elektronicznej na świecie i w SFRJ, które określałyby podejmowanie decyzji dotyczących optymalnych kierunków rozwoju elektroniki;

- istnienie minimum 8 ośrodków (6 republik + 2 regiony autonomiczne), powodujących takie rozdrobnienie "polityk" rozwojowych, że obecnie - bez przeprowadzenia wielkiego przełomu - nie będzie możliwe przeprowadzenie akcji wspólnego planowania rozwoju technologii;

- przerzucanie odpowiedzialności za rozwój technologii w elektronice na szczebel kombinatów i zakładów elektronicznych, które są głównymi użytkownikami tych technologii, co wobec braku odpowiednich środków finansowych, kadry fachowej i informacji o najnowszych rozwiązaniach powodowało często, że rozwój nowoczesnej technologii w ogóle nie był rozpoczynany;

- brak bazy materialnej i technologicznej w SFRJ zmuszał producentów do zakupu licencji jako jedyne rozwiązanie dla pokrycia potrzeb krajowych. Niedofinansowanie własnego rozwoju w dziedzinie urządzeń technologicznych i szkolenia kadr, które mogłyby wprowadzać licencję i gwarantować jej rozwój - zamiast zmniejszać dystans między technologiami stosowanymi w świecie i Jugosławii - powodowały dalsze zacofanie i uzależnienie technologii zakupionej w ramach licencji od zagranicznego partnera;

- brak integracji z producentami podobnych wyrobów w Jugosławii i lokalne oparcie się na licencjach, bez wykorzystania możliwości prowadzenia wspólnych prac rozwojowych, spowodowało powstanie produkcji w oparciu o odpady z importu i montaż w Jugosławii;

- brak polityki finansowania rozwoju technologii i produkcji podstawowych urządzeń technologicznych wewnątrz kombinatów i przedsiębiorstw produkcyjnych spowodował następujące negatywne zjawiska:

- a) zmniejszenie zdolności produkcyjnych i potencjału kadrowego, sprowadzenie problemów do wąskich zakresów możliwości przedsiębiorstw i regionów oraz zmniejszenie możliwości wspólnych wystąpień na rynkach trzecich, a także brak pełnego pokrycia potrzeb krajowych;
- b) zwiększenie uzależniania się od zagranicznego partnera i podporządkowanie własnych interesów interesom licen-

cjodawcy. Występowały tu tradycyjnie niewłaściwe stosunki pomiędzy producentami podobnych wyrobów, co nie było korzystne zarówno dla producentów, jak i dla gospodarki jugosłowiańskiej;

- c) spadek zainteresowania przedsiębiorstw szkoleniem kadr i nawiązywaniem współpracy z organizacjami naukowymi, gdyż wobec zakupu licencji i "know-how" podstawowe zasoby wiedzy kupowano w ramach licencji, a brak własnej kadry zapewniającej rozwój powodował dalsze cofanie się elektroniki jugosłowiańskiej w stosunku do czołówki światowej.

W kierunkach rozwoju przemysłu elektronicznego w Jugosławii przewiduje się przede wszystkim aktywne działania w celu wyeliminowania przedstawionych negatywnych zjawisk i zapewnienie środków finansowych dla bardziej dynamicznego rozwoju tego przemysłu.

Według oceny specjalistów powodem słabego rozwoju elektroniki w Jugosławii są zwłaszcza zbyt niskie nakłady na jej rozwój. Przed 5 laty nakłady wynosiły ok. 1,07% dochodu narodowego, w 1986 r. - 0,91%, co powoduje, iż Jugosławia pozostaje na 15 - 30 razy gorszym miejscu niż kraje rozwinięte, a w zakresie nakładów na rozwój nauki na 4 - 5 razy gorszym.

Tematykę programu rozwoju elektroniki w Jugosławii podzielono na 2 etapy, tj. 1986 - 1994 oraz 1994 - 2002, oraz oceniono, iż dla zagwarantowania realizacji tego programu niezbędne nakłady finansowe wyniosą:

A. Technika półprzewodnikowa (w tym mikroelektronika)

- materiały podstawowe i pomocnicze	460 mln \$
- produkcja podzespołów	230 mln \$
- nakłady na prace projektowe	50 mln \$
- nakłady na urządzenia technologiczne	140 mln \$
Razem: 880 mln \$	

B. Technika hybrydowa

- technologie układów hybrydowych cienko- i grubo-warstwowych	175 mln \$
- nakłady na produkcję narzędzi technologicznych	470 mln \$
Razem: 645 mln \$	

Ogółem A + B = 1525 mln \$

Są to nakłady przewidywane na realizację programu w latach 1986 - 1994. W tej ogólnej wartości przewidywany jest udział nakładów inwestycyjnych w dinarach w wysokości ok. 58%, co stanowi równowartość około 885 mln dolarów.

Szacunkowa wartość niezbędnych nakładów na II etap rozwoju (lata 1994 - 2002) wynosi 2500 mln dolarów. Uwzględniając dotychczasowe osiągnięcia w elektronice jugosłowiańskiej, na które składają się osiągnięcia poszczególnych zakładów elektronicznych, stwierdzono, że nie odpowiadają one aktualnym potrzebom kraju, a rozwój w niektórych kluczowych dziedzinach winien być sterowany centralnie. Dla przykładu podano, iż w latach 1968 - 1978 zakupy licencyjne technologii w elektronice spowodowały znaczne zahamowanie własnych prac naukowo-badawczych i rozwojowych. Zakupów nie koordynowano centralnie, kierowano się głównie zabezpieczeniem własnych interesów ekonomicznych, dbając przede wszystkim o zapewnienie "samospłat" zakupionych licencji, na przykład:

- Elektronska Industrija - Nisz: zakupiono program RCA w dziedzinie technologii produkcji tranzystorów krzemowych, podzespołów optoelektronicznych, układów scalonych i mikroprocesorów;

- Iskra - Trbovlje: zakupiono licencję GENERAL-ELECTRIC głównie dla rozwoju elementów dyskretnych oraz tyrystorów i diod mocy;

- Iskra - Ljubljana: zakupiono licencję na montaż układów scalonych ze struktur własnej produkcji i z importu, m.in. z firmy AMI (American Microsystem Inc), w obudowach ceramicznych, szklano-ceramicznych, z tworzyw sztucznych i metalowych o zdolności produkcyjnej 6 mln szt. układów scalonych o 16 wyprawieniach;

- RIZ - Zagreb: zakupiono licencję od SGS ATES na tranzystory impulsowe, przy czym ich montaż jest oparty na importowanych strukturach.

Nowym, jak na stosunki jugosłowiańskie, pomysłem organizacyjnym jest dążenie do porozumień między republikami w podejmowaniu decyzji dotyczących rozwoju elektroniki. Ciekawym

wym postanowieniem jest, aby np. produkcja masek dla układów scalonych była scentralizowana w jednej z fabryk, która produkowałaby maski o regułach projektowania rzędu 0,5 μ m przy użyciu technologii laserowej dla wszystkich producentów jugosłowiańskich. Program przewiduje zakup bardzo drogich urządzeń specjalistycznych do implantacji jonowej, technologii plazmowej i systemów wysokopróżniowych. Nakłady na zakup urządzeń do tych technologii oceniane są na ok. 40 mln dolarów, przy czym koszt 1 urządzenia wynosi ok. 400 tys. dolarów. Z uwagi na wysoki koszt urządzeń indywidualny zakup przez poszczególne zakłady jest wysoce nieopłacalny.

Problem jest dość skomplikowany, gdyż od zakończenia II wojny światowej i wprowadzenia "niezależnej" samorządności przedsiębiorstw tego typu "integracja" czy też centralne sterowanie procesami nie miało w Jugosławii miejsca.

Należy dodać, iż rozpoczęcie realizacji opracowanych programów rozwoju mikroelektroniki w Jugosławii, ze względu na istniejącą kryzysową sytuację gospodarczą, ulega opóźnieniu. Władze SFRJ dotychczas nie zatwierdziły jeszcze programu rozwoju do 1994 r. i nie powołały - na szczeblu federacji - odpowiedniego organu koordynującego rozwój elektroniki. Przewiduje się dokonanie tych ustaleń jeszcze w 1988 r." [5].

2.1.2. Kraje EWG

Poziom techniczny produkcji krajów EWG określa masowe wytwarzanie pamięci o pojemności 64-kbitów i mikroprocesorów 16-bitowych. Nie wyznacza to jednak kresu ich możliwości, gdyż większość firm sprzętowych działających w krajach EWG jest powiązana ze światowymi koncernami elektronicznymi i montuje swoje wyroby z układów scalonych dostarczanych przez firmy amerykańskie lub japońskie, a zakłady nie mające takich powiązań kooperują z firmami azjatyckimi (poza Japonią) [6].

Najlepiej ilustruje to fakt, że w 1979 r. tylko 1/3 układów scalonych użytych w przemyśle francuskim wytworzono we Francji. Jest to wielkość niemal identyczna ze średnią dla całego EWG i oznacza, że decyzje o tym, co montowano w 2/3 przemysłu francuskiego, zapadały poza Francją. A działo się tak w sytuacji, gdy znaczna część przemysłu mikroelektronicznego (THOMSON CSF) była w ręku rządu! Po prostu inwestycje w tej dziedzinie nie nadążały za potrzebami, a jednocześnie konieczność osiągnięcia szybkich, spektakularnych sukcesów w elektronice zmuszała do przyspieszenia rozwoju wybranych dziedzin sprzętowych (telekomunikacja, urządzenia do rozpoznawania obrazu).

Na przełomie lat 1983/1984 odbyła się w RFN seria narad z udziałem przedstawicieli rządów krajów EWG i kierownictw największych koncernów elektronicznych. Stwierdzono na nich, że jeśli luka w mikroelektronice pomiędzy EWG a USA i Japonią będzie się powiększać w takim tempie jak obecnie, to kraje europejskie czeka los neokolonii gospodarczej, zależnej nie tylko od USA i Japonii, ale również od kilku innych, tzw. nowo uprzemysłowionych krajów leżących nad Pacyfikiem. W związku z tym postanowiono zjednoczyć środki w celu przełamania dotychczasowego impasu.

Pierwszym liczącym się krokiem w tym kierunku było utworzenie w RFN 4-letniego programu badań w dziedzinie mikroelektroniki, na który Federalne Ministerstwo Badań i Technologii wyasygnowało kwotę 1 160 mln dolarów. Do programu tego przyłączyło się z własnym wkładem wiele mniejszych i większych firm, a wśród nich SIEMENS, który utworzył własny 2-letni podprogram

inwestycji umożliwiający wdrażanie nowo opracowanych układów scalonych i przeznaczył na nie kwotę 200 mln dolarów. Rozpoczęło to lawinę mniejszych i większych programów, przy czym każdy kroił je na miarę swych możliwości. Obok RFN, Francji i Anglii, gdzie powstały potężne programy, w szranki wstąpiła Hiszpania, której rząd zaplanował na 4-letni program badań i rozwoju w mikroelektronice 1,15 mld dolarów (niemal dokładnie tyle co rząd RFN).

Największym programem jest obecnie w krajach EWG porozumienie pomiędzy SIEMENSEM a PHILIPSEM na temat wspólnego wprowadzenia do produkcji układów scalonych pamięci megabitowych. Koszt przedsięwzięcia wynosi 2 mld dolarów. Zapewne rządy RFN i Holandii zobowiązały się do udzielenia pomocy (czyli ulg podatkowych) obu firmom, ale o tym oficjalne doniesienia nie wspominają, podobnie jak i o innych tego typu przedsięwzięciach, chociaż na pewno są już one podejmowane. Jeśli się udadzą, to najbardziej rozwinięte państwa zachodnioeuropejskie do końca stulecia utrzymają w stosunku do USA i Japonii opóźnienie nie przekraczające 5 lat.

2.1.3. Kraje Dalekiego Wschodu (poza Japonią).

Obserwatorów rozwoju elektroniki półprzewodnikowej na świecie fascynuje od wielu lat fenomen tzw. "czterech tygrysów". Są to małe państwa azjatyckie: Korea Południowa, Hong-Kong, Tajwan i Singapur, których działalność w tym zakresie warta jest osobnej wzmianki.

Udział tych państw w obrocie wyrobami mikroelektronicznymi sięga 9% produkcji światowej i przekroczył połowę udziału krajów EWG. Największa mikroelektroniczna firma koreańska SAMSUNG w połowie 1987 r. rozpoczęła sprzedaż pamięci 256-kbitowych w samej Japonii (!) i to po 1,75 dolara za sztukę, podczas gdy oferta firm miejscowych opiewała średnio na 2,15 dolara. Ta sama firma zamierza rozpocząć produkcję układów scalonych pamięci o pojemności 1 Mbita i zawarła z firmą IBM umowę na dostawę pamięci 256 kbitów za sumę 25 mln dolarów, co jest niewątpliwym świadectwem wysokiej jakości tych układów.

W 1986 r. przyrost produkcji mikroelektronicznej "czterech tygrysów" wynosił w skali rocznej 53,3% w porównaniu z 40,6% w Japonii, 14,6% w krajach EWG i 7,2% w USA.

2.2. Kraje najbardziej rozwinięte

(cel do osiągnięcia dla Polski w 2010 r.)

2.2.1. Sytuacja strategiczna USA i Japonii w dziedzinie elektroniki półprzewodnikowej

Podobno nigdy w historii świata nie było jeszcze takiej sytuacji, by dwa kraje miały w jakiejś dziedzinie tak ogromną przewagę nad resztą świata, jak dziś Japonia i Stany Zjednoczone w dziedzinie mikroelektroniki i elektronizacji. Mając niespełna 7% ludności świata, produkują ponad 70% wyrobów mikroelektronicznych wytwarzanych na świecie.

Amerykanie przy pomocy wielkich programów zbrojeniowych i kosmicznych skłonili koncerny elektroniczne do maksymalnego wy-

siłku dla opracowania technologii o regułach projektowania rzędu 1 μm , co pozwoliło tym koncernom uzyskać nadzwyczaj intratne zamówienia rządowe o zyskach nieporównywalnie większych niż zapewniała elektronika "cywilna". Japończycy osiągnęli to samo łamiąc zasady wolnego rynku i przeznaczając z kasy państwowej duże dotacje dla tych koncernów elektronicznych, które zgodzą się połączyć swe wysiłki i wytworzyć nową generację (opartą właśnie na technologii o regułach projektowania 1 μm) układów scalonych zapewniających konkurencyjność wyrobów japońskich różnych branż w stosunku do wyrobów amerykańskich.

Największą przewagę mają Japończycy w układach scalonych pamięciowych, gdzie na własne potrzeby produkują już masowo pamięci o pojemności 1 Mbita, a pamięci o pojemności 64 kbitów i 256 kbitów sprzedawali do USA tak tanio, że aż wywołało to formalną wojnę handlową. Oba państwa produkują już też mikroprocesory 32-bitowe i mają w laboratoriach mikroprocesory 64-bitowe.

O przewadze technologicznej jednego bądź drugiego kraju decyduje kwota, którą jest on w stanie przeznaczyć na prace badawczo-rozwojowe. Możliwości USA są tu znacznie większe niż Japonii. W 1985 r. USA wydały na ten cel 108 mld dolarów, natomiast Japonia 34 mld dolarów. Jeśli się jednak weźmie pod uwagę strukturę tych wydatków, to okaże się, że na przykład w sferze elektroniki firmy japońskie zainwestowały o 1 mld dolarów więcej niż amerykańskie.

Najistotniejsza jednak przewaga przedsiębiorstw japońskich polega na niesłychanie szybkiej komercjalizacji nowych osiągnięć. O ile w USA i Europie Zach. w latach siedemdziesiątych

okres od dokonania wynalazku do wprowadzenia na rynek produktu na nim opartego wynosił średnio 7 lat, o tyle w Japonii jedynie 3,5 roku. Wiele przedsiębiorstw amerykańskich przenosi część swojej produkcji do Japonii, tak uczyniły MOTOROLA i TEXAS INSTRUMENTS. Doszło nawet do tego, że zaczęły one wykupywać przedsiębiorstwa japońskie, czemu rząd japoński nie może przeciwdziałać. W końcu Japończycy postępowali i postępują tak samo. A jest kogo podpatrywać. W Electronic Industries Association of Japan jest zarejestrowanych blisko 600 przedsiębiorstw, wśród nich FUJITSU, HITACHI, MATSUSHITA, NEC i TOSHIBA. Czołowe firmy elektroniczne utworzyły już kartel badawczy w celu stworzenia pamięci o pojemności 16 Mbitów.

Początki rywalizacji Japonii i Stanów Zjednoczonych w elektronice i elektronizacji, a więc i początki mikroelektroniki (droga, którą mamy do przebycia) oraz rolę ich rządów nieźle uchwycił "Raport Klubu Rzymskiego" z 1982 r.:

"Trzeba jeszcze raz podkreślić różnicę między przemysłem mikroelektronicznym jako takim a ogólnymi zmianami wywołanymi przezeń w sektorze przemysłowym i pozostałych działach gospodarki. [...] Prawie wszystkie innowacje w tej dziedzinie dokonane zostały w Stanach Zjednoczonych. Przedsiębiorstwom tego kraju przypisuje się 70% światowej produkcji układów scalonych. Sytuacja ta zmienia się jednak wraz z szybkimi postępami technicznymi przedsiębiorstw japońskich i w mniejszym stopniu europejskich, przez co zagrożona została dominacja Amerykanów. Rozległe badania, kontrakty dotyczące rozwoju oraz formy pomocy materialnej udzielanej przemysłowi przez Departament Obrony USA i NASA (która także dała gwarantowany rynek zbytu na pierwsze układy scalone) wspomogły starania Stanów Zjednoczonych w tej dziedzinie, dzięki czemu przedsiębiorstwa amerykańskie mogły

zrobić duże postępy w produkcji nowych urządzeń półprzewodnikowych zanim narodził się komercyjny rynek. Innym korzystnym faktem była dominująca rola IBM w dziedzinie produkcji komputerów, w wyniku czego przedsiębiorstwo to szybko stało się jednym z głównych nabywców nowych układów. Chociaż dziś amerykańskie potrzeby obronne stanowią mały ułamek rynku na układy scalone, kontrakty dotyczące obrony są nadal głównym bodźcem do dalszych badań w dziedzinie mikroelektroniki. Np. pomoc finansową Pentagonu w wysokości 200 milionów dolarów przeznaczono na przemysłową produkcję bardzo szybkich układów scalonych (VHSICs - very-high-speed integrated circuits), które będą zawierały setki tysięcy gęsto upakowanych elementów; przedsięwzięcie to będzie miało wyraźne skutki w zastosowaniach cywilnych. Japońska droga do rozwoju mikroelektroniki była z konieczności inna z powodu braku większych programów badawczych na cele obronne. Sukces japońskiego, tradycyjnego przemysłu elektronicznego, skoncentrowanego w kilku silnych korporacjach, uzmysłowił tym przedsiębiorstwom znaczenie tych nowych możliwości oraz zwrócił uwagę na [...] postępy Amerykanów w dziedzinie mikroelektroniki. Państwo to, wcześniej niż jakiekolwiek inne, pojęło, jakie możliwości niesie z sobą ta nowa dziedzina. Pod auspicjami rządu rozpoczęto przedsięwzięcie mające na celu stworzenie silnego japońskiego przemysłu komputerowego, jednocześnie podejmując za pośrednictwem MITI (the Ministry of International Trade and Industry - Ministerstwo Handlu Zagranicznego i Przemysłu) kroki dla ochrony rodzimego przemysłu przed konkurencją innych państw. Jednym z elementów tego programu był wspólny (rządu i przemysłu) projekt badań nad rozwojem odpowiednich technik do konstrukcji układów scalonych o gęstym upakowaniu; w projekt ten rząd włożył 250 milionów dolarów, czyli 40% wszystkich wydatków. Starania te powiodły się i obecnie Japończycy nie tylko stanowią poważną konkurencję dla firm amerykańskich, lecz także przodują w niektórych przedsięwzięciach technicznych". [7, s. 34 - 35].

Dzień dzisiejszy w Japonii w zakresie oddziaływania agend rządowych na mikroelektronikę wygląda podobnie. MITI jest aktualnie współuczestnikiem potężnego przedsięwzięcia rozwojowego układów scalonych o tzw. ultrawielkiej skali integracji, które jednoczy rząd i przemysł w dziele pozwalającym zbudować komputer piątej generacji (bezpośrednio komunikujący się z człowiekiem), a jednocześnie stosuje różnego rodzaju zachęty, zwłaszcza zmniejszanie podatków dla przedsiębiorstw wspomagających mikroelektronikę, a także wyróżniających się w stosowaniu automatyzacji i robotyzacji. MITI zwykle pomaga silnym, aby stali się jeszcze silniejsi uważając, że pociągną oni za sobą na wyższy poziom całą gospodarkę.

Rząd amerykański natomiast bardzo rzadko występuje w roli współnika przedsiębiorstw. Głównymi środkami jego działania są preferencje (i ich odwrotności) w handlu zagranicznym, oddziaływanie na szkolnictwo i - przede wszystkim - wielkie, zwykle bardzo dla przedsiębiorstw opłacalne zamówienia na rzecz techniki wojskowej oraz kosmicznej.

Główny cel tej integracji jest oczywisty: kto ma najlepsze układy scalone, kto ma ich najwięcej, ten będzie dyktował warunki światu. USA mają szansę na zajęcie takiej pozycji. Dość powszechna jest w Ameryce teza, że "Japonię trzeba wykupić, a resztę świata na tyle wyprzedzić, by nie miała szans na rywalizację". Jednym z najskuteczniejszych narzędzi tej polityki jest embargo wymierzone najsilniej w kraje socjalistyczne, ale także w niektóre kraje kapitalistyczne i kraje Trzeciego Świata.

Rozwój własnej mikroelektroniki rząd USA stymuluje wielkimi zamówieniami, których najnowszym przykładem jest kompleks zadań pod nazwą SIO (Strategiczna Inicjatywa Obronna) znany też jako "projekt wojen gwiazdnych". SIO ma (w największym skrócie) dać USA, dzięki ich przewadze technologicznej przede wszystkim w mikroelektronice, pełną ochronę przed atakiem atomowo-rakietowym na zasadzie wczesnego wykrywania z kosmosu startu rakiety oraz niszczenia jej w pierwszej fazie lotu strumieniem promieniowania laserowego, rentgenowskiego bądź jonowego. Wszystko to wymaga ogromnej rozbudowy bazy mikroelektronicznej, a zwłaszcza znacznego zwiększenia stopnia integracji układów scalonych, ich niezawodności i szybkości działania oraz zbudowania przy ich wykorzystaniu komputerów piątej i szóstej generacji wraz z oprogramowaniem oraz automatów (robotów) zdolnych m.in. do oceny sytuacji i dokonywania wyboru w skomplikowanych, ekstremalnych warunkach (temperatura, przeciążenia elektryczne i mechaniczne). Nic dziwnego, że jako pierwszy został włączony do SIO program rozwoju bardzo szybkich układów scalonych VHSICs z celem osiągnięcia reguł projektowania $0,5\ \mu\text{m}$ (w 1984 r. osiągnięto $1,25\ \mu\text{m}$) pozwalających m.in. konstruować pamięci o pojemności do 16 Mbitów. Program ten został już uzupełniony programami badań nad tzw. układami scalonymi trójwymiarowymi oraz nad wykorzystaniem supersieci (w uproszczeniu - układy scalone wykorzystujące jedno-, dwuatomowe warstwy określonych pierwiastków układane kolejno na sobie). USA przekazały ponad 20 różnych tematów związanych z SIO swoim zachodnioeuropejskim sojusznikom, są to jednak niemal wyłącznie tematy dotyczące sprzętu

lub laserów. Z tematów technologicznych przekazano do tej pory tylko jeden Wielkiej Brytanii, dotyczący badań poznawczych (a nie technicznych) w dziedzinie materiałów półprzewodnikowych typu $A^{III}B^V$ (zbliżonych do arsenku galu).

Aby mieć wyobrażenie o rozmiarach SIO i o wpływie, jaki dzięki temu przedsięwzięciu będzie miał rząd amerykański na firmy, którym zleci poszczególne opracowania, należy jeszcze wziąć pod uwagę to, że pełna jego realizacja przewidywana jest w ciągu 30 lat przy rocznych nakładach (wg cen z 1985 r.) 30 ÷ 40 mld dolarów, a w okresie szczytowego nasilenia prac nawet dwa razy wyższych.

2.2.2. Sytuacja ekonomiczna przemysłu półprzewodnikowego USA i Japonii

Przemysł półprzewodnikowy znajduje się w stanie przemian. Obecnie, po wyjściu z recesji połowy lat osiemdziesiątych, szybkim zmianom podlegają technologie i warunki rynkowe. Współzawodnictwo zaostrza się dramatycznie nie tylko w zakresie dostaw podzespołów półprzewodnikowych, lecz również obejmuje wytwórców sprzętu. Technologie zmieniają się. Krótszy czas eksploatacji wyrobów, różnorodność rozwiązań i zwiększona rywalizacja wpływają bezpośrednio na popularność produktu i stopę zysku. Dodatkowo na przemysł elektroniczny wpłynęła znacząco sytuacja ekonomiczna w Stanach Zjednoczonych i innych krajach. Przykładem niech będzie reforma oprocentowania kapitałów, która spowodowała ich gromadzenie.

Obrót podzespołami półprzewodnikowymi charakteryzuje pewna zmienność, mająca naturę cykliczną. Niedawno myślano, że przemysł ten nie powinien podlegać takim wahaniom. Obecnie jednak mamy za sobą doświadczenia największej recesji przemysłu półprzewodnikowego w jego historii. Jeśli wziąć pod uwagę trendy długoterminowe, to wzrost tego przemysłu oceniany jest na 17% rocznie, a w krótszych terminach występują 3 + 5-letnie cykle rozwojowe. W związku z tym koncerny półprzewodnikowe są zmuszone do działania w warunkach uzyskiwania maksymalnych osiągnięć z bardzo szybkim (3 + 5 lat) okresem dezaktualizacji technologii i oprzyrządowania. Trzeba inwestować 25 + 30% zysku, by dotrzymać kroku innym.

Mimo że jest to ciągle przemysł skromnie finansowany, to jego wpływ na przemysłową i społeczną działalność człowieka jest większy niż to wynika z jego wartości materialnej. Ciągłe spadające ceny podzespołów półprzewodnikowych zwiększają zakres zastosowań, tworząc nowe rynki zbytu. Powstają nowe wyroby, tańsze i lepsze od tradycyjnych dzięki zastosowaniu elektroniki półprzewodnikowej.

Pomimo nie najlepszej koniunktury panującej na rynkach wielu urządzeń elektronicznych, utrzymuje się dość szybkie tempo rozwoju branży jako całości. Według danych amerykańskiego stowarzyszenia przemysłu elektronicznego EIA wartość sprzedaży sprzętu elektronicznego na świecie osiągnęła w 1987 r. 413 mld dolarów w porównaniu z 386 mld w roku poprzednim. Zakłada się, że wartość ta powinna wzrosnąć w 1988 r. do ok. 500 mld dolarów.

Największym wytwórcą wyrobów elektronicznych pozostały Stany Zjednoczone. W 1987 r. ze sprzedaży urządzeń i podzespołów elektronicznych uzyskano kwotę 225 mld dolarów, czyli przeszło o 5% większą niż w 1986 r. Prognozy na 1988 r. zakładają wzrost dynamiki do ok. 6%.

Amerykańska branża wytwarzająca elektroniczny sprzęt powszechnego użytku, będąca zdecydowanie najsłabszym ogniwem tamtejszej elektroniki, osiągnęła w 1987 r. wpływy w wysokości ok. 7 mld dolarów (wzrost o 7%), a w 1988 r. uzyska przypuszczalnie 7,5 mld dolarów.

Dla telekomunikacji 1987 r. nie był zbyt udany. Sprzedaż zwiększyła się o 4,5% i osiągnęła wartość 65,9 mld dolarów.

Spadający popyt na sprzęt komputerowy odbił się na wynikach producentów elektroniki profesjonalnej. Uzyskali oni wpływy rzędu 70 mld dolarów. Oznacza to wzrost w porównaniu z 1986 r. o 6,5%.

Przemysł półprzewodnikowy wolno wydobywa się z załamania największego w jego 35-letniej historii. Paradoksem jest, że stało się to w czasie względnie wysokiej stabilności ekonomicznej. Przyczyna tkwi prawdopodobnie w euforycznym przeinwestowaniu na początku lat osiemdziesiątych, co z kolei wyniknęło ze zbyt optymistycznych ocen zapotrzebowania na sprzęt elektroniczny. Obecnie uważa się, że tempo wychodzenia z kryzysu jest dominowane przez trzy następujące czynniki:

- słabość ekonomiki amerykańskiej wynikająca z deficytu budżetowego, silnego dolara i erozji tradycyjnej amerykańskiej

"etyki dobrej roboty", co łącznie spowodowało trend wzrostu niekompetencji w przemyśle amerykańskim;

- brak stabilizacji w skali światowej, wzrost terroryzmu, trendy protekcyjnistyczne oraz przeobrażenia w przemyśle komputerowym powodujące niepewność operacji inwestycyjno-handlowych; nie przewidziane są ekonomiczne skutki obecnej deflacji i wstrzymywania się od zakupów w oczekiwaniu produktów lepszych i tańszych;

- wzrastający trend do ograniczania ilościowego sprzętu na rzecz wzrostu elastyczności i optymalizacji kosztów.

Tabela 2. Zużycie podzespołów półprzewodnikowych w latach 1985 - 1986

Zużycie	1985	1986	[%]
	[mln dolarów]		
Zużycie światowe	24 823	30 712	23,7
USA	9 607	10 300	7,2
Japonia	8 599	12 087	40,6
Europa	4 720	5 417	14,8
Azja Południowo-Wschodnia	1 897	2 908	53,3

Z analizy tab. 2 wynika, że ponad 50% wzrostu wartości zużycia podzespołów półprzewodnikowych występuje w krajach Dalekiego Wschodu, a jedynie 7% wzrostu w Stanach Zjednoczonych i 14% w Europie. Jednak istota sprawy leży w zmianie kursów walut. "Wzrost" europejski jest właściwie spadkiem, a 40-procentowa stopa wzrostu w Japonii jest w gruncie rzeczy stagnacją. Faktem pozostaje jednak wzrost o 50% w krajach dalekowschodnich.

Wydaże się, że stoimy obecnie przed eksplozyjnym rozwojem rynku półprzewodnikowego, który będzie spowodowany "witalnością" użytkowników elementów półprzewodnikowych, czyli wytwórców sprzętu w następujących dziedzinach:

- analiza i synteza mowy,
- sieci komputerowe,
- nowoczesne radioodbiorniki samochodowe,
- roboty przemysłowe,
- drukarki bezuderzeniowe,
- komputery osobiste,
- mechanizmy dyskowe o średnicy mniejszej niż 5,25 cala.

Uznano je za najbardziej rozwojowe i dające perspektywiczną możliwość dużego zapotrzebowania na elementy półprzewodnikowe. Dziedziny te rozwijają się o 13 + 30% rocznie przy zwiększającej się wartości elementów półprzewodnikowych wykorzystanych w jednym wyrobie. Chociaż potrzeby te nie są obecnie znaczące, to w latach dziewięćdziesiątych będą stanowić rynek miliardowy.

Koncentrując się na dniu dzisiejszym, można wskazać produkty mające decydujący wpływ na poziom zużycia podzespołów półprzewodnikowych. Należą do nich:

- magnetowidy,
- komputery ogólnego przeznaczenia,
- komputery biurowe,
- komputery osobiste,
- magnetofony,
- odbiorniki telewizji kolorowej.

Elektroniczny sprzęt powszechnego użytku ma ciągle dominującą pozycję. Zwłaszcza w Japonii jest to rynek masowy, skłaniający producentów elementów półprzewodnikowych do konstruowania układów specjalnych, które zastosowane masowo bardzo szybko tanieją. Mimo dominacji sprzętu powszechnego użytku, rynek japoński zmierza szybko w stronę dominacji produktów biurowych i użytku osobistego.

Rynek podzespołów półprzewodnikowych dla telekomunikacji i automatów biurowych stanowi coraz większą część rynku całkowitego. Obecnie najbardziej atrakcyjnym wyrobem jest dysk cyfrowy przeznaczony do odtwarzania dźwięku, w którym trzeba zastosować układy scalone zawierające kilkaset tysięcy tranzystorów, by zastąpić dotychczasowy gramofon.

Wracając do przemysłu komputerowego, będącego tradycyjnym masowym odbiorcą elementów półprzewodnikowych, można zauważyć, że jego trudności spowodowały recesję przemysłu półprzewodnikowego. Praktycznie jedynie komputery - sterowniki nie zostały dotknięte recesją i nie odczuła jej firma DEC. Pewne problemy miała również firma IBM. Obecnie następuje szybkie dostosowywanie przemysłu komputerowego do potrzeb użytkowników, charakteryzujące się np. wprowadzaniem komputerów do wspomagania pracy biurowej, łączeniem w sieci, poprawą organizacji pracy uwzględniającej "współżycie" z komputerem.

W tym zakresie pojawiają się nowe problemy, których rozwiązanie może znacząco wpłynąć na kierunek dalszego rozwoju. Jednym z nich jest grupowe korzystanie z komputera rozumiane ja-

ko zdolność do elektronicznego rozdziału i dostępu do wspólnych danych potrzebnych grupie ludzi, których łączy zakład pracy, zawód itp. Typowym zastosowaniem jest przetwarzanie tekstów, odtworzenie dokumentów, poczta elektroniczna, organizacja harmonogramów, dostęp do bazy danych itd. Drugim kluczowym problemem jest obsługa transakcji dokonywanych "on - line" przez komputery pracujące w systemach rezerwacji miejsc, w marketingu, doradztwie, wynalazczości oraz komputery biblioteczne itp. Kluczową rolę w rozwiązywaniu tego problemu będą mieć dostawcy systemów mikroprocesorowych "tolerujących uszkodzenia" oraz terminali.

Poza sprzętem powszechnego użytku i komputerowym trzecim rynkiem pod względem zapotrzebowania na półprzewodniki jest telekomunikacja.

W przypadku układów scalonych zwraca uwagę znaczny wzrost liczby i pojemności produkowanych pamięci półprzewodnikowych, który wynosił dotychczas ok. 100% rocznie. Nawet w recesyjnym 1985 r. wzrost ten wyniósł 40%. Oczekuje się, że na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ustabilizuje się on na poziomie 50 ÷ 60%. Większy wzrost mogą osiągnąć jedynie przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone zupełnie nowych, nie znanych dziś generacji. W każdym przypadku można jednak przyjąć, że przemysł półprzewodnikowy jest i pozostanie przez najbliższe dziesięciolecie stymulatorem całego przemysłu elektronicznego na świecie, dając wraz z usługami już dziś ponad 10% światowego dochodu. Dla gospodarki Stanów Zjednoczonych i Japonii jest to niewątpliwie najważniejsza branża przemysłowa.

2.2.3. Poziom techniczny USA i Japonii w dziedzinie elektroniki półprzewodnikowej

Jak już powiedziano w p. 2.2.1, poziom techniczny USA i Japonii w dziedzinie elektroniki półprzewodnikowej wyznacza masowa produkcja pamięci o pojemności 1 Mbita i laboratoryjna pamięci o pojemności 4 Mbitów oraz masowa mikroprocesorów 32-bitowych i laboratoryjna 64-bitowych. Maksymalna, możliwa do upakowania gęstość na strukturze (przy uzysku nie mniejszym niż 25% struktur z płytki) sięga dziś 10 mln elementów, a przy uzysku jednostkowym nawet 100 mln elementów. Uzysk struktur na płytkach 6-calowych przy produkcji wielkoprzemysłowej dla pamięci o pojemności 1 Mbita przekracza 85%. Minimalny czas dostępu dla dużych pamięci statycznych nie przekracza 2 ns, a dla dynamicznych - 50 ns. Czas cyklu pracy mikroprocesorowych układów scalonych jest krótszy od 50 ns. O niezawodności tych układów świadczy osiąganie średniego czasu między uszkodzeniami rzędu 100 mln godzin.

Jeśli chodzi o strukturę produkcji, to Stany Zjednoczone produkują łącznie przyrządów półprzewodnikowych zaledwie o ok. 10% więcej niż Japonia, przy czym układów mikroprocesorowych prawie 4 razy tyle co Japonia (w łącznej produkcji światowej układy scalone pamięciowe zajmują ok. 25%, układy mikroprocesorowe ok. 4%, specjalizowane, głównie na bazie matryc, ok. 10%). Wśród układów mikroprocesorowych produkowanych w Stanach Zjednoczonych mikroprocesory 32-bitowe stanowią ok. 10%, a 16-bitowe

we i 8-bitowe po ok. 45%. Łączna wartość produkcji mikroprocesorów w USA zbliża się do 1,5 mld dolarów.

Parę słów należy jeszcze poświęcić niezbyt sprecyzowanej kategorii specjalizowanych układów scalonych, w tym zwłaszcza układom "na zamówienie". Ze standardowej sieci komórek wytwarza się w nich za pomocą metalizacji zaprojektowanej ostatnią maską, zgodnie z życzeniem klienta, układy niewielkie liczebnie, o bardzo konkretnym przeznaczeniu. Obserwatorzy są zaskoczeni różnorodnością ich zastosowań, od układów pamięciowych aż do bloków obwodów funkcjonalnych, nazywanych często "bibliotekami" lub "makrokomórkami". Dla wytwarzania układów specjalizowanych następują nawet fuzje różnego typu producentów. Przykładem może tu być związanie się firmy NCR MICROELECTRONICS z MOTOROLĄ. NCR dostarcza bibliotekę komórek podstawowych, MOTOROLA - zgodnie z zamówieniami - programuje ich "logikę". Innym rozwiązaniem układów specjalizowanych (też stosowanych przez MOTOROLĘ) jest umieszczanie komórek podstawowych dookoła jednostki przetwarzającej, np. procesor centralny w środku układu, a wokół niego różne kombinacje układów EPROM, ROM, logiki programowalnej, przetworników analogowo-cyfrowych itp. Produkowane już są masowo układy specjalizowane zawierające po 20 tys. bramek technologią o regułach projektowania $1,5\ \mu\text{m}$ z metalizacją trójskładnikową i trójwarstwową w obudowach z 256 wyprowadzeniami. W produkcji małoseryjnej znajdują się układy zawierające o rząd więcej bramek. Układy specjalizowane, wykonywane różnymi technologiami i łączące w sobie mikroprocesory z pamięciami i inny-

mi układami "klasycznymi", wydają się mieć w tej chwili największą przyszłość.

Podstawową i najszybciej rozwijającą się technologią jest technologia CMOS w różnych odmianach. Reguły projektowania w tej technologii dochodzą już do $0,5\ \mu\text{m}$ (fotolitografia ultrafioletowa). Coraz większego znaczenia nabierają też technologie mieszane mosowo-bipolarne, a do układów bardzo szybkich i dla zastosowań specjalnych - technologie wykorzystujące izolacyjne (lub izolowane) podłoża i różne warianty technologicznego wykorzystania materiałów $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, w pierwszej kolejności GaAs, a w znacznie mniejszym stopniu (głównie w skali laboratoryjnej) InP i materiałów wieloskładnikowych wytwarzanych w postaci supersieci.

Obecnie na koszt układu scalonego w USA i Japonii wpływa przede wszystkim amortyzacja urządzeń i instalacji (ok. 25%) oraz koszt prac badawczo-rozwojowych (ok. 20%) i materiałów (też ok. 20%). Koszt robocizny wynosi $5 + 10\%$, resztę stanowi zysk. Proporcje te dotyczą jednak ustabilizowanej produkcji. Wprowadzenie nowych wyrobów wymaga tak ogromnych nakładów kapitału, że mogą sobie na nie pozwolić tylko silne koncerny łączące przeważnie zakłady podzespołowe z zakładami sprzętu finalnego.

Poziom i rozwój dyskretnych przyrządów półprzewodnikowych w USA i Japonii jest pochodną sytuacji w mikroelektronice. Klasyczne tranzystory i diody zniknęły w zasadzie z masowego zastosowania, wyparte przez duże układy scalone (np. 20 szt. ukła-

dów pamięci o pojemności 4 Mbitów ma w sobie tyle tranzystorów, ile ich produkował cały przemysł amerykański w 1960 r.) , nie-
mniej jednak nadal niezastąpione są diody prostownicze wysoko-
napięciowe ($U > 1,5 \text{ kV}$, $I > 10 \text{ A}$, $t_r < 50 \text{ ns}$), diody mikrofalowe na pasma od 12 GHz wzwyż, tranzystory mikrofalowe od 1 GHz wzwyż, tranzystory "bezszumne", tranzystory MOS mocy ($U_{DS} \geq 1 \text{ kV}$, $I_D > 50 \text{ A}$) itp.

Czujniki holowskie, piezoelektryczne i niektóre optoelektroniczne produkowane są głównie w postaci fragmentów układów scalonych, ze wzmacniaczami i korektorami liniowości oraz kompensatorami temperatury. Występują również w formie czujników -
- układów na zamówienie.

Oddzielny, obszerny rozdział stanowią przyrządy optoelektroniczne mające zastosowanie w telekomunikacji, automatyce, w sprzęcie powszechnego użytku i technice wojskowej. W produkcji masowej znajdują się już źródła i odbiorniki dla łączności światłowodowej w pasmach długości fali $1,3 \mu\text{m}$ oraz $1,55 \mu\text{m}$, nadajniki i odbiorniki promieniowania podczerwonego stosowane w krótkodystansowych, otwartych obwodach sterowania (od telewizora po skomplikowaną frezarkę) i lasery półprzewodnikowe do odczytu z dysków optycznych, pracujące na fali ciągłej, w układzie jednomodowym, w temperaturze pokojowej, w zakresie "ciemnej" czerwieni. Oczywiście również w produkcji wielkoseryjnej znajdują się wszelkie diody elektroluminescencyjne i wskaźniki cyfrowe używane do sygnalizacji i odczytu wskazań.

W zakresie promieniowania czerwonego osiąga się tu już $200 \div 300 \mu\text{cd/l mA}$, a dla promieniowania zielonego od 150 do

$200 \mu\text{cd/l mA}$ (przy zasilaniu prądem rzędu 10 mA). Potentatami są tu w USA firma HEWLETT-PACKARD, a w Japonii NEC, ale i inne firmy półprzewodnikowe nie stronią od tej produkcji.

Coraz ważniejsze miejsce zaczynają zajmować różne rozwiązania płaskich ekranów tworzonych z elementów półprzewodnikowych, choć w tej dziedzinie dominuje ciągle technika ciekłokrystaliczna.

Niewielką, ale bardzo ważną ze względu na zastosowanie grupę stanowią przetworniki i detektory półprzewodnikowe pracujące w zakresie średniej podczerwieni, w szczególności w pasmach ok. $5 \mu\text{m}$ i $9 \div 10 \mu\text{m}$, służące m.in. do wykrywania z kosmosu obiektów cieplejszych od otoczenia.

Rozwój optoelektroniki półprzewodnikowej związany jest z rozwojem zarówno licznych technologii mikroelektronicznych (litografia, epitaksja molekularna, implantacja itp.), jak i specyficznych dla optoelektroniki, np. epitaksja z fazy gazowej struktur arsenofosforku galu na podłożu z fosforku galu, heteroepitaksja ze związków metaloorganicznych, ciekła epitaksja GaAsAl na GaAs na dużych o średnicy $\geq 76 \text{ mm}$ podłożach, narastanie supersieci itp.

Bardzo ważnym kierunkiem rozwoju optoelektroniki półprzewodnikowej są układy scalone optoelektroniczne, wykorzystujące -
- przynajmniej częściowo - do przenoszenia sygnału światło bądź promieniowanie podczerwone. Na pograniczu optoelektroniki "klasycznej" i takich układów znajdują się coraz doskonalsze tranzystory z prądem wejściowym rzędu $0,1 \div 0,2 \text{ mA}$, szybkością działania mniejszą od $0,5 \mu\text{s}$, współczynnikiem transformacji prądo-

wej 5000%, napięciem izolacji przewyższającym 10 kV i pracą bez uszkodzeń rzędu 100 tys. godzin.

Produkcja półprzewodnikowych przyrządów dyskretnych (łącznie z optoelektroniką) osiągnęła w 1987 r. w Stanach Zjednoczonych i w Japonii ok. 15% całej produkcji elektroniki półprzewodnikowej.

Na zakończenie warto jeszcze przyjrzeć się tym kierunkom rozwoju elektroniki półprzewodnikowej, które w USA i Japonii są uważane za przyszłościowe, gdyż mogą w nich tkwić załączki możliwości "skrótów" także w naszej pogoni za nowoczesną techniką. Takimi kierunkami są m.in. [8]:

- dalsze doskonalenie monokrystalizacji krzemu (superjednorodność, zwiększenie średnicy) w warunkach nieważkości i w bardzo silnych polach magnetycznych, w tym z wykorzystaniem magnesów nadprzewodzących;

- wprowadzenie materiałów z grupy $A^{III}B^V$, głównie opartych na GaAs i InP, a także materiałów mieszanych (np. podłoża krzemowe, warstwa $A^{III}B^V$ itp.);

- zmniejszenie roli błędów popełnianych przez człowieka w procesie projektowania, konstrukcji, technologii i miernictwa poprzez doskonalenie metod automatyki i komputeryzacji na wszystkich tych etapach;

- rozwój układów scalonych o funkcjach i technologiach mieszanych: układy logiczne z układami mocy, układy bipolarne z układami MOS, układy analogowe z cyfrowymi (LINCOS);

- dalsze zmniejszanie wymiarów charakterystycznych w konstrukcjach klasycznych drogą zastosowania wiązki elektronowej,

wiązki jonowej, fotolitografii ultrafioletowej i (ostatnio zanikającej) litografii rentgenowskiej. Tymi drogami otrzymywane są m.in. pamięci DRAM o pojemności 16 Mbitów i czasie dostępu poniżej 1 ns;

- tzw. scalenie płytkowe (wytworzenie skomplikowanych układów scalonych obejmujących całą płytkę krzemową o średnicy 6 cali lub 8 cali). Z tym kierunkiem łączy się prace nad tzw. układami odpornymi na defekty technologiczne (możliwość wykonania tej samej funkcjonalnie konstrukcji różnymi systemami połączeń uwzględniającymi "niedoróbki" technologiczne);

- tworzenie bardzo szybkich układów o dużym stopniu scalenia odpornych na promieniowanie (m.in. układy objęte wspomnianym wcześniej programem VHSICs);

- optymalizowanie konstrukcji logicznych, np. architektura mikroprocesorów oparta na "komputerowej koncepcji zmniejszenia instrukcji" (RISC);

- wprowadzanie nowych koncepcji w architekturze i technologii układów scalonych wykorzystujących m.in. analogie biologiczne, jak na przykład systemy mikroprocesorowo-neuronowe;

- wykorzystywanie procesów balistycznych w konstruowaniu elementarnych komórek logicznych. Tranzystor balistyczny można otrzymać stosując arsenek galu i reguły projektowania rzędu 0,3 μm . Tranzystory balistyczne krzemowe wymagają reguł projektowania poniżej 0,1 μm . Czas przełączania zbudowanych już w laboratoriach tranzystorów balistycznych nie przekracza 10 ps;

- konstruowanie tzw. trójwymiarowych układów scalonych, w tym układów z elementami optoelektronicznymi. Na podstawie

pierwszych doświadczeń w tej dziedzinie można stwierdzić, że jest możliwość konstruowania pamięci gigabitowych i mikrokomputerowych jednoukładowych o niewyobrażalnej dziś mocy obliczeniowej.

3. Elektronika półprzewodnikowa w dzisiejszej Polsce [9]

3.1. Stan obecny jako wynik działań w ostatnim piętnastoleciu

Wobec dokładnego omówienia tego tematu w artykule [3] powtarzamy tu tylko najbardziej podstawowe stwierdzenia.

Polacy stanowią 0,8% ludności świata, a nasza produkcja mikroelektroniczna stanowi 0,1% produkcji światowej [10]. Jest to w przybliżeniu 2 razy mniej niż wynosi średnia dla krajów RWPG. Poziom techniczny określa produkcja mikroprocesora 8-bitowego i pamięci o pojemności 4 kbitów oraz laboratoryjne opanowanie pamięci o pojemności 16 kbitów, przy czym sama produkcja ma właściwie charakter laboratoryjny, ponieważ wydajność linii technologicznej produkującej wszystkie układy scalone wielkiej skali integracji nie przekracza 1,5 mln szt. rocznie, a układy mikroprocesorowe i pamięci o pojemności 4 kbitów stanowią zaledwie kilka procent tej produkcji. Najsmutniejsze jest to, że poziom techniczny produkcji mikroelektronicznej w Polsce był przed paru laty wyższy niż obecnie, co jest niewątpliwym ewenementem w skali światowej.

O ile w minionych latach w pracach badawczych w dziedzinie mikroelektroniki Polacy często przodowali, o tyle produkcja mikroelektroniczna, wymagająca dobrego poziomu wielu towarzyszących dziedzin techniki (chemia, metalurgia kolorowa, budow-

nictwo, mechanika precyzyjna, optyka itp.), nigdy nie była naszą mocną stroną. Pewnym wyłomem w tych złych tradycjach było utworzenie w 1970 r. Naukowo-Produkcyjnego Centrum Półprzewodników (CEMI). Według zagranicznych źródeł polska mikroelektronika w ciągu 8 lat, pomiędzy 1970 r. a 1978 r., wyszła dzięki temu z 5 na 2 miejsce (wśród krajów RWPG) pod względem poziomu produkcji, a w niektórych najbardziej zaawansowanych rozwiązaniach technicznych wysunęła się na niekwestionowane 1 miejsce. Niestety, inwestowanie w mikroelektronikę zostało, poczynając od 1978 r., praktycznie wstrzymane; wówczas zaczęło się (i trwa do tej pory) niebezpieczne sprzężenie zwrotne pomiędzy stanem całej gospodarki a stanem mikroelektroniki, która tę gospodarkę powinna podźwignąć.

3.2. Produkcja przemysłowa

Cała krajowa produkcja [11] w dziedzinie elektroniki półprzewodnikowej nie przekraczała w 1986 r. 300 mln szt. przyrządów półprzewodnikowych o łącznej wartości około 15 mld zł. Struktura jej jest wybitnie przestarzała: produkcja elementów dyskretnych stanowi wartościowo blisko 60% całej produkcji, produkcja układów scalonych LSI ok. 10%, w tym pamięci i mikroprocesorów ok. 0,5%. Produkcja półprzewodnikowych przyrządów optoelektronicznych stanowi ok. 10% całej produkcji (jest to udział 2 razy wyższy niż przeciętny na świecie), ale obejmuje tylko przyrządy bardzo proste.

Wytwarzane są układy scalone:

- bipolarne, cyfrowe, TTL, małej i średniej skali integracji, o izolacji łączowej jednostronnej, o regułach projektowania

$6 \div 10 \mu\text{m}$;

- bipolarne, cyfrowe, TTLS i TTLLS, bardzo szybkie i o zmniejszonym poborze mocy, małej i średniej skali integracji, o izolacji łączowej jednostronnej, o regułach projektowania $6 \mu\text{m}$;

- bipolarne, liniowe, w tym o podwyższonym napięciu, średniej skali integracji, o izolacji łączowej jednostronnej lub łączowej ze słupami kolektorowymi, o regułach projektowania $8 \div 10 \mu\text{m}$;

- bipolarne, cyfrowe, TTL, towarzyszące mikroprocesorowym, średniej i wielkiej skali integracji, o izolacji łączowej dwustronnej, o regułach projektowania $6 \mu\text{m}$;

- MOS, cyfrowe, kalkulatorowe, zegarkowe, telefoniczne, wielkiej skali integracji, w technologii PMOS i CMOS z bramką aluminiową, o regułach projektowania $7 \div 8 \mu\text{m}$;

- MOS, cyfrowe dla automatyki, odpowiedniki serii CD 4000, wielkiej skali integracji, w technologii CMOS z bramką aluminiową, o regułach projektowania $7 \mu\text{m}$;

- MOS, pamięci i rejestry przesuwające, wielkiej skali integracji, w technologii CMOS i NMOS z bramką polikrzemową, o regułach projektowania $5 \div 6 \mu\text{m}$;

- MOS, układy mikroprocesorowe i towarzyszące, wielkiej skali integracji, w technologii NMOS i LOCOS z bramką polikrzemową, o regułach projektowania $5 \mu\text{m}$.

Całość produkcji, zarówno mikroelektroniki, jak optoelektroniki i przyrządów dyskretnych, nie wychodzi poza poziom światowy połowy lat siedemdziesiątych.

3.3. Prace badawczo-rozwojowe

Prawie wszystkie prace badawczo-rozwojowe w dziedzinie elektroniki półprzewodnikowej skupione są w Naukowo-Produkcyjnym Centrum Półprzewodników (CEMI), a prace dotyczące materiałów półprzewodnikowych - w Centrum Naukowo-Produkcyjnym Materiałów Elektronicznych (CEMAT). Pewne, niewielkie prace rozwojowe prowadzone są w zakładach LAMINA, POLCOLOR, POLAM, a niektóre przyczynkowe badania także w instytutach uczelnianych i akademickich.

Znaczenie praktyczne w tym zakresie mają następujące działania, charakteryzujące jednocześnie poziom prac badawczo-rozwojowych.

a) Prace nad konstrukcją i technologią następujących grup układów scalonych [12]

- układy do systemów mikrokomputerowych, obejmujące mikrokomputery jednoukładowe i mikroprocesory 4- i 8-bitowe wraz z układami pamięciowymi i pomocniczymi, w tym do systemów 16-bitowych, wykonywane za pomocą technologii PMOS i NMOS oraz bipolarnej TTL-S;

- cyfrowe układy profesjonalne CMOS przeznaczone do różnorodnych zastosowań w automatyce, technice pomiarowej i komputerowej;

- układy matrycowe TTL-S dla techniki komputerowej;
- różne (liniowe i cyfrowe) układy profesjonalne dla techniki pomiarowej i komputerowej, jak układy zegarowe, układy telefoniczne, układy sterujące itp.;
- układy dla spu (kalkulatory, zegarki);

b) Prace nad poprawą uzysku w produkcji układów scalonych i ich niezawodności

• Na uzysk wpływa wiele różnorodnych czynników, wśród nich: sposób zaprojektowania układu, technologia użyta do jego wytworzenia, wielkość struktury, panująca czystość, umiejętności i chęci pracowników. Wykrycie istotnych, przyczyn zbyt niskiego uzysku jest więc bardzo złożone i wymaga wielu prac z pogranicza elektroniki półprzewodników, statystyki, organizacji pracy, a nawet psychologii. Najważniejszym dotychczasowym wynikiem tych prac jest opracowanie systemu działań mających na celu sterowanie produkcją układów scalonych w celu osiągnięcia maksymalnego, możliwego w określonych warunkach uzysku. Po wielu doświadczeniach system diagnostyczny SD jest instalowany na linii produkcyjnej. Jego zadaniem jest zbieranie danych w celu wnioskowania o stanie linii i przyczynach powstawania defektów technologicznych. Natomiast w opracowaniu jest system DIATESTOS, który poza zbieraniem danych będzie sterował linią produkcyjną w celu osiągania maksymalnych uzysków. Również wielkie znaczenie ekonomiczne mają badania niezawodności układów scalonych. Standardowe badania jakości i niezawodności były prowadzone od dawna. Jednakże dopiero przed kilku laty powstał odrębny

zespół, który oprócz badań standardowych, wymaganych przez Polskie Normy, wprowadził na większą skalę badania niezawodnościowe. Ważnym osiągnięciem w tej dziedzinie jest opanowanie metodyki badań odporności układów scalonych (a zwłaszcza pamięci) na promieniowanie α i β . Drugim ważnym ekonomicznym zagadnieniem jest opracowanie i wprowadzenie do badań niezawodnościowych testów selekcyjnych. Przyspieszają one i obniżają koszt badań.

c) Prace nad projektowaniem systemowym

• W wielu przypadkach niektóre układy scalone (np. mikrokomputery jednoukładowe) stanowią systemy autonomiczne. Bez gruntownej znajomości takich systemów wręcz niemożliwe staje się projektowanie układów scalonych, ich testowanie, określanie niezawodności i właściwe wykorzystanie w systemie. Do tego potrzebne jest opracowanie metod i narzędzi (sprzętu komputerowego i oprogramowania systemowego) wspomagających projektowanie układów przez badanie ich zachowania w systemie mikrokomputerowym i analizę ich pracy. Opracowywane narzędzia znajdują również zastosowanie do wspomagania uruchamiania systemów mikrokomputerowych. Wynikiem takiego zainteresowania jest wdrożenie do produkcji emulatora sprzętowego EMU-48 przeznaczonego do uruchamiania sprzętu i oprogramowania systemów z mikrokomputerem jednoukładowym MCY 7835/48 oraz konstruowanie układów peryferyjnych z wykorzystaniem tego mikrokomputera.

d) Prace nad metodami oceny krzemu

- Krzem do układów wielkiej i bardzo wielkiej skali integracji musi spełniać specjalne wymagania, szczególnie trudne do uzyskania w obecnych warunkach krajowych. Stąd konieczne jest opracowywanie nieraz zupełnie oryginalnych metod pomiaru parametrów materiałowych na różnych etapach procesu technologicznego prowadzącego do wytworzenia układów LSI i VLSI.

e) Prace nad teorią przyrządów półprzewodnikowych

- Badana jest teoria transportu nośników ładunku w warunkach ekstremalnych, w tym transportu balistycznego.

- Badane są zjawiska związane z występowaniem mikroniejednorodności w krzemie i strukturach układów scalonych.

f) Prace nad półprzewodnikowymi przyrządami optoelektronicznymi [13]

- Główny wysiłek badawczy skoncentrowano na opracowaniu źródeł z GaAlAs/GaAs, GaInAsP/InP oraz detektorów krzemowych. Rozpoczęto również prace nad detektorami ze związków potrójnych i poczwórnych na bazie InP oraz detektorami germanowymi, dla których opracowano technologię ampułowej dyfuzji arsenu do germanu.

- Opracowano serię diod elektroluminescencyjnych (DEL) światłowodowych na pasmo $0,8 \div 0,9 \mu\text{m}$ o mocy promieniowania od $10 \mu\text{W}$ do $500 \mu\text{W}$.

- Opracowuje się prototyp modułu laserowego pracującego na fali ciągłej w pasmie $0,8 \div 0,86 \mu\text{m}$. W skład modułu wchodzi laser CW z GaAlAs/GaAs o geometrii paskowej, fotodioda

krzemowa monitorująca tylne lustro lasera, z której sygnał służy do ciągłej obserwacji stanu lasera, a także jako sygnał błędny dla układu automatycznej stabilizacji mocy promieniowania, termistor do pomiaru temperatury lasera, a więc dla obserwacji jego stanu, a także jako źródło sygnału dla układów automatyki stabilizującej punkt pracy lasera, oraz mikromoduł baterii Peltiera będący elementem wykonawczym układu automatycznej stabilizacji punktu pracy lasera.

- Opracowano technologię krzemowych epiplanarnych fotodiod PIN przystosowanych do współpracy ze światłowodami telekomunikacyjnymi (średnica rdzenia $\varnothing = 50 \mu\text{m}$, średnica płaszczka $\varnothing_e = 125 \mu\text{m}$) oraz do współpracy ze światłowodami grubordzeniowymi. W diodach tych zastosowano nowo opracowaną epiplanarną strukturę p^+-n z dwoma obszarami typu p (podkontaktowym i fotoczułym) i z warstwą przeciwodblaskową, a także światłowodowy fototranzystor o bardzo dużej czułości ($> 70 \text{ A/W}$) i niskim prądzie zerowym ($I = 5 \text{ nA}$) do współpracy ze światłowodem o średnicy zewnętrznej do $400 \mu\text{m}$.

- Prowadzi się prace teoretyczne umożliwiające modelowanie zjawisk zachodzących w diodach elektroluminescencyjnych przeznaczonych do współpracy ze światłowodami. Wykazano w nich m.in., że przyjmowane często w literaturze założenie o stałej luminacji energetycznej w płaszczyźnie złącza DEL jest niesłuszne. Posługując się zaproponowanym modelem rozprzężenia prądu w złączu p-n, przeanalizowano problem sprzężenia diod Burrusa i krawędziowej ze światłowodem zakończonym

płasko lub sferycznie. Na podstawie wprowadzonego modelu, wykorzystującego macierzowy zapis toru wiązki promieniowania, przedstawiono zależności pozwalające na wyznaczenie optymalnych wielkości parametrów światłowodu i odległości DEL -
- światłowodów, które prowadzą do uzyskania maksymalnej sprawności sprzężenia przy danych wymiarach diody. Wykazano również istotny wpływ temperatury złącza DEL na sprawność sprzężenia.

- W grupie przyrządów optoelektronicznych przeznaczonych do pracy w systemie komunikacji światłowodowej w zakresie $1,1 \div 1,6 \mu\text{m}$ opracowano i wykonano przemysłowy model światłowodowej DEL z GaInAsP/InP AQDP 10F emitującej promieniowanie o długości fali $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ oraz 2 modele użytkowe fotodiod germanowych wielkiej częstotliwości APYP 02 i APYP 03. Prowadzone są również prace nad laserem złączowym ze związków poczwórnych oraz fotodiodą PIN z GaInAs/InP na pasmo $1,3 \mu\text{m}$.

- Wykonano pierwsze egzemplarze biheterozłącza laserów paskowych GaInAsP/InP. Lasery te (na pasmo $1,3 \mu\text{m}$) wprawdzie pracują przy zasilaniu impulsowym, ale sam fakt uzyskania powtarzalnej akcji laserowej w temperaturze pokojowej świadczy o tym, że osiągnięty został poziom, który pozwoli na wkroczenie w etap prac nad najbardziej perspektywicznymi łączami światłowodowymi dalekiego zasięgu.

- Opracowano serię nowoczesnych fotodetektorów krzemowych, a w tym fotodiody lawinowe na pasmo $1,06 \mu\text{m}$ o prądzie ciemnym rzędu 100 nA i wzmocnieniu prądu fotoelektrycznego $40 \div 80$, fotodiodę telemetryczną do dalmierza z DEL

o $\lambda = 0,9 \mu\text{m}$, wzmocnieniu 200 i $t_r \approx 1 \text{ ns}$, a także matrycę fotodiodową 128-elementową z bezpośrednim odczytem sygnału.

- Osiągnięto wysoki poziom w zakresie charakterystyki materiałów dla optoelektroniki oraz w zakresie miernictwa przyrządów optoelektronicznych. Działalność w tej dziedzinie koncentrowała się głównie na opracowaniu metod i realizacji układów pomiarowych służących do pomiaru parametrów fotometrycznych i radiometrycznych oraz fotoelektrycznych i czasowych, charakterystycznych dla tego typu przyrządów. Szczególną uwagę poświęcono opracowaniu wzorcowych metod pomiaru parametrów fotometrycznych i radiometrycznych w jednostkach bezwzględnych.

g) Prace nad półprzewodnikowymi przyrządami mikrofalowymi [14]

- Opracowano rodzinę waraktorów z krzemu i GaAs, kilka typów diod ładunkowych o czasie przełączania $0,8 \div 0,12 \text{ ns}$ i diody PIN na różne zakresy mocy, do 15 kW w impulsie włączenia, a także całą rodzinę diod Schottky'ego z krzemu i GaAs do pracy w pasmach 3 GHz i 10 GHz .

- Opracowano (na pasmo X) diody generacyjne lawinowe o mocy fali ciągłej w granicach $0,75 \text{ W}$ oraz diody Gunna o mocy ciągłej sygnału wyjściowego $0,25 \text{ W}$.

- Opracowano model tranzystora mikrofalowego o małych szumach ($F \leq 3,5 \text{ dB}$ przy $f = 2 \text{ GHz}$), a także tranzystora mocy ($P = 1 \text{ W}$ przy $f = 2 \text{ GHz}$).

- Prowadzi się liczne prace związane z miernictwem mikrofalowym. Towarzyszą one opracowaniom konstrukcyjno-technologicznym nowych przyrządów półprzewodnikowych. Projektując

i realizując układy do pomiarów parametrów mikrofalowych diod i tranzystorów, korzysta się nie tylko z wyników prac zagranicznych, lecz także wprowadza się do tej dziedziny techniki własne koncepcje.

h) Prace nad termistorami [15]

• W dziedzinie technologii tworzyw termistorowych, przydatnych do wytwarzania termistorów NTC, przebadano właściwości cieplno-elektryczne materiałów wchodzących w skład układów: mangan-nikiel-tlen, mangan-kobalt-tlen, mangan-nikiel-miedź-tlen, mangan-kobalt-miedź-tlen. Zbadano powiązania pomiędzy uzyskaną strukturą krystalograficzną tworzyw a ich właściwościami termistorowymi. Ustalono optymalny skład tworzyw i określono optymalne warunki ich syntezy. Szczególną uwagę poświęcono opracowaniu warunków cieplnej obróbki technologicznej, zapewniającej możliwie najlepszą stabilność cieplno-elektryczną tworzyw. Uzyskane tworzywa umożliwiają wytwarzanie wysokostabilnych termistorów o temperaturze maksymalnej pracy do 200°C (termistory zwykłe) i do 1200°C (termistory żaroodporne).

• W dziedzinie technologii i materiałów termistorowych przydatnych do wytwarzania termistorów CTR opanowano technologię tworzywa o podstawie tlenku wanadu domieszkowanego tlenkiem boru i fosforu. Tworzywo to charakteryzuje się gwałtownym skokiem rezystywności w temperaturze ok. 67°C , dochodzącym do 4 rzędów wartości.

• W zakresie materiałów na termistory PTC przebadano technologię tworzywa opartego na tytanianie baru, domieszkowa-

negu tlenkiem glinu i krzemu oraz tlenkiem antymonu. Uzyskane wyniki umożliwiły opracowanie pierwszych egzemplarzy termistorów o dodatniej wartości temperaturowego współczynnika rezystancji i temperaturze zadziałania ok. 80°C .

• Opracowano i wykonano kilkanaście typów przyrządów termistorowych. Są to: miniaturowe termistory perełkowe, termistory bagietkowe, termistory pastylkowe, termistory próżniowe, termistory w obudowie do linii koncentrycznych dla pomiaru mocy prądu wielkiej częstotliwości, termistory próżniowe pośrednio ogrzewane, termistory żaroodporne oraz termistorowe czujniki bolometryczne. Parametry cieplno-elektryczne tych termistorów są na poziomie parametrów światowych, a w niektórych przypadkach znacznie je przewyższają. Z ostatnich opracowań należy wymienić miniaturowe termistory perełkowe do sond rakietowych przeznaczonych do pomiaru temperatury górnych warstw atmosfery w ramach programu INTERKOSMOS oraz precyzyjne termistory miniaturowe wysokostabilne do stabilizacji struktur laserowych.

• W zakresie pomiarów właściwości cieplno-elektrycznych wykonano wiele prac teoretyczno-doświadczalnych, dotyczących miernictwa rezystancji znamionowej, stałej materiałowej, cieplnej stałej czasowej, współczynnika strat, przebiegu charakterystyk temperaturowych oraz właściwości reaktancyjnych termistorów. Opracowano i wykonano unikatową aparaturę do pomiarów tych parametrów oraz do automatycznego wykonywania charakterystyk napięciowo-prądowych.

4. Program rozwoju elektroniki półprzewodnikowej w Polsce w latach 1989 - 1995 i 1996 - 2010

4.1. Uwagi wstępne

Z tego, co powiedziano w poprzednich rozdziałach, wyłania się dość jednoznaczna droga rozwoju polskiej elektroniki półprzewodnikowej w ciągu najbliższych 6 i dalszych 15 lat. Polska musi przejść drogę podobną jak jej najbliżsi sąsiedzi i Jugosławia, a potem starać się powtórzyć drogę krajów wysoko rozwiniętych. W swoim rozwoju musi uwzględnić fakt ogromnego zapóźnienia, jakie wystąpiło w ostatnich 10 latach oraz maksymalnie wykorzystać posiadane atuty: niezłą kadrę i kilka rysujących się już "specjalności narodowych".

4.2. Podstawowe realia rozwoju do 1995 r.

Rozwój do 1995 r. jest już właściwie zdeterminowany istniejącymi możliwościami i prowadzonymi rokowaniami wokół zamówienia rządowego. Można z grubsza określić, że najbliższym celem jest osiągnięcie w elektronice półprzewodnikowej w ciągu 5 - 7 lat obecnego poziomu technicznego NRD.

Rozpatrywana niedawno przez najwyższe organy państwowe kolejna wersja programu elektronizacji [16] zakładała podwojenie do 1990 r. produkcji podzespołów półprzewodnikowych, w tym ponad trzykrotne (z 30 mln sztuk do 100 mln sztuk) zwiększenie produkcji w dziedzinie mikroelektroniki. Nie zbliżyłoby to nas

do średniej produkcji krajów RWPg, która ma się w tym samym czasie prawie potroić²⁾. Główny problem polega jednak na zwiększeniu tej części produkcji, która powinna najsilniej wpłynąć na korzystne przeobrażenia polskiej gospodarki, tj. na zwiększeniu produkcji w zakresie układów wielkiej skali integracji (LSI i VLSI). Zakładane tu wyprodukowanie w 1990 r. 18 mln sztuk układów LSI i VLSI w technologii o regułach projektowania 3 μm byłoby możliwe, gdyby zmobilizowano w tym celu cały krajowy potencjał już w 1985 r. Powstała obecnie strata 3 lat jest nie do odrobienia i pierwotne założenia trzeba przesunąć o dalsze 2 lub 3 lata. Warunkiem utrzymania w polskiej mikroelektronice obecnego dystansu do pozostałych krajów RWPg będzie podjęcie w ciągu najbliższych 5 + 7 lat ogromnego i dobrze skoordynowanego wysiłku.

4.3. Koncepcja realizacji technicznej rozwoju elektroniki półprzewodnikowej w latach 1988 - 1995

Do 1990 r. musi być uruchomiona produkcja 4-calowych monokryształów krzemu o parametrach niezbędnych dla technologii o regułach projektowania 3 μm , do 1995 r. monokryształów 6-calowych o parametrach wymaganych dla technologii o regułach projektowania 1,5 μm .

²⁾ Szerzej omówiono to w [3].

W obu przypadkach główną barierą będzie polikryształ (zbyt zanieczyszczony i wytwarzany w zbyt małych ilościach), obróbka powierzchni (płaskorównoległość do 1990 r. musi być co najmniej 2 razy lepsza od obecnej), niejednorodność płytek oraz zawartość w nich tlenu, węgla i metali ciężkich. Opanowanie produkcji odpowiedniego krzemu jest głównym i koniecznym warunkiem rozwoju samej mikroelektroniki.

Następnym warunkiem jest wprowadzenie do seryjnej produkcji w technologii o regułach projektowania $3\ \mu\text{m}$ nie później niż w 1992 r. (inwestycje aparaturowe, prace budowlane, opracowanie i wdrożenie technologii, konstrukcje podstawowych układów scalonych VLSI) pamięci i mikroprocesorów. Jednocześnie musi w tym czasie zostać rozwinięta ilościowo produkcja bipolarnych układów towarzyszących układom mikroprocesorowym, mogących być typowym "towarem wymiennym". Pozostały asortyment układów scalonych winien w tym czasie być rozwijany (specjalizacyjne porozumienia z krajami RWPG pozwalające wydłużyć serie) drogą odnowy parku maszynowego i wdrażania systemów diagnostycznych pomagających otrzymać wysoki uzysk.

Taka koncepcja jest właściwie nieunikniona. Wariantowo może być jedynie rozpatrywany czynnik czasu, przy czym jego skrócenie nie wchodzi raczej w rachubę, natomiast wydłużenie poza 1997 r. grozi totalną katastrofą.

W tym samym czasie powinny być stworzone przesłanki rozwoju po 1995 r. Aby zwiększyć ilościowo produkcję układów scalonych ponad 100 mln szt., trzeba będzie w latach 1988 - 1995 znacznie rozbudować zakłady wchodzące obecnie w skład CEMI, a w pierw-

szej kolejności zakład produkujący ażury KAZEL. W miarę istniejących środków powinna zostać zaawansowana budowa nowych centrów, na wzór CEMI, w ośrodku wrocławskim i toruńskim, przy czym do 1995 r. oba te centra powinny podjąć na normalną skalę produkcję polegającą na montażu importowanych lub kupowanych w CEMI struktur.

Do 1995 r. rozpocznie już zapewne normalną działalność międzynarodowe centrum krajów socjalistycznych nastawione głównie na opracowanie i produkcję komputerów oraz bazy mikroelektronicznej dla techniki obliczeniowej. Jeśli, jak się na to zanośsi, mikroelektronika wytwarzana w tym międzynarodowym centrum będzie miała charakter "metryczny" (nie będą produkowane ściśle odpowiedniki najwyższej rozwiniętych firm światowych), to ośrodek wrocławski lub toruński może zająć się montażem takich właśnie układów scalonych, pozostawiając CEMI specjalizację (także na rzecz ZSRR) w produkcji ściśle odpowiedników "calowych".

Również w tym okresie powinny zapaść decyzje co do specjalizacji polskiego przemysłu elektroniki półprzewodnikowej w zakresie optoelektroniki, mikrofal i termistorów, gdyż przemysł pozostałych podzespołów dyskretnych musi w tym czasie jedynie odtworzyć swój park maszynowy i zwiększyć uzyski oraz parametry niezawodnościowe. Decyzje o specjalizacji będą wypadkową już istniejących możliwości laboratoryjnych i zapotrzebowania oraz parametrów ekonomicznych. O ile uda się rozwinąć odpowiednio bazę materiałów $A^{III}B^V$, to każdy wzrost bieżącej produkcji DEL, detektorów i transoptorów możliwy do osiągnięcia zostanie po-

chłonięty przez rynek wewnętrzny i eksport do krajów socjalistycznych (ograniczeniem ilościowym będą materiały).

Natomiast optoelektronika bardziej zaawansowana, opisana w rozdz. 3, pozostanie do 1990 r. w produkcji laboratoryjnej, a w latach 1990 - 1995 powinna wykształcić swoją specjalizację w zakresie 3 + 6 wyrobów, które staną się "polską specjalnością" po 1995 r. Być może będzie to któryś z omawianych laserów półprzewodnikowych, mozaika z fotodiod lawinowych, fotodiody pomiarowe i jakieś transoptory. Na szczegółowy wybór, a nawet na decyzję o wielkości asortymentu należy poczekać do 1990 r. i uzależnić go od rozwoju sytuacji w materiałach i urządzeniach technologicznych.

Półprzewodnikowe przyrządy mikrofalowe - z wyjątkiem może najniższych zakresów częstotliwościowych - również pozostaną w produkcji laboratoryjnej. Dalszy rozwój tranzystorów mikrofalowych będzie ściśle sprzężony z technologiami mikroelektroniki, gdyż liczący się postęp będzie można osiągnąć dopiero po zastosowaniu, bodaj w niewielkim ilościowo zakresie, technologii o mikronowych regułach projektowania. I tu, tak jak w mikroelektronice i optoelektronice, najtrudniejsza do pokonania jest bariera materiałowa, przy czym w przypadku przyrządów mikrofalowych dochodzą jeszcze specyficzne trudności związane z obudowami.

Na szczególną uwagę zasługuje niewielka do tej pory ilośćowo, ale już przemysłowa produkcja termistorów, gdyż jest ona w całości oparta na krajowych patentach i krajowych materiałach, w dziedzinie których Polacy mają niewielu sobie równych. Warto

nadmienić, że sukcesy osiągane obecnie w nadprzewodnictwie przez pracowników Instytutu Fizyki PAN dotyczą materiałów z tej samej rodziny. Może i tutaj znajdzie się w latach 1990 - 1995 polska specjalność w produkcji elementów półprzewodnikowych?

Reasumując, sytuacja w polskiej elektronice półprzewodnikowej w 1995 r. powinna być zbliżona do obecnej sytuacji panującej w tej branży w NRD, przy czym produkcja układów scalonych powinna odbywać się w zasadzie w technologii o regułach projektowania 3 μ m (pamięci o pojemności 64 kbitów, mikroprocesory 16 bitów), a w wybranych, najważniejszych układach, w technologii o regułach projektowania 1,5 μ m. Jej liczność powinna się wyrażać 100 + 150 mln sztuk układów scalonych rocznie, w tym 18 + 30 mln układów LSI i VLSI. Produkcja pozostałych przyrządów półprzewodnikowych powinna stanowić 30 + 40% wartości produkcji układów scalonych, w tym 6 + 10% przyrządów optoelektronicznych. Najważniejszą sprawą będzie jednak przygotowanie przemysłu i laboratoriów badawczo-rozwojowych do dokonania w latach 1996 - 2000 dużego skoku ilościowego produkcji i przeprowadzenia wyboru "polskich specjalności", który zadecyduje o polskim potencjale przemysłowym w latach 2000 - 2010.

4.4. Rozwój elektroniki półprzewodnikowej

w Polsce w latach 1996 - 2010

Jak już powiedziano na wstępie, Polska powinna w 2010 r. osiągnąć obecny poziom techniczny (w zakresie elektroniki półprzewodników) Stanów Zjednoczonych i Japonii, przy czym w naj-

lepszym wypadku termin ten może być przyspieszony o 4 lata, w najgorszym - opóźniony o 10 lat.

O drogach osiągnięcia tego celu można najwięcej powiedzieć śledząc obecne etapy rozwoju krajów wysoko rozwiniętych (p. rozdz. 2) oraz analizując prawdopodobne zapotrzebowanie krajowe. Analizę takiego zapotrzebowania przeprowadzono w części 3 "Koncepcji rozwoju przemysłu mikroelektronicznego w Polsce do roku 2010" [17]. Odsyłając czytelników po szczegóły do tego opracowania, przytoczymy tylko parę fragmentów dotyczących krajowego zapotrzebowania na wyroby przemysłu elektroniki półprzewodnikowej w 2000 r. i w 2010 r. Należy podkreślić, że oszacowanie to, zwłaszcza w zakresie układów scalonych w 2000 r., zgadza się zaskakująco dobrze z innymi, niezależnie robionymi obliczeniami (700 mln sztuk układów scalonych w przeliczeniu na stopień integracji rzędu 1000 elementów na strukturze).

"W poprzednich opracowaniach [...] określono, iż potrzeby kraju na układy scalone w roku 2000 wyniosą 700 + 900 mln szt. W opracowaniu wewnętrznym CEMI określono zapotrzebowanie na układy scalone do roku 1995. Ekstrapolując wykresy sporządzone według tego opracowania (ekstrapolacja tangencjalna dla szybciej rozwijających się układów MOS i liniowa "uśredniona" dla układów bipolarnych), otrzymuje się oszacowanie potrzeb w roku 2000 na około 600 mln szt. układów scalonych. Fragmentaryczność i bardzo uproszczona podstawa metodyczna tych oszacowań sprawiają, że ich przydatność w niniejszym opracowaniu jest bardzo ograniczona. Na użytek tego opracowania wykonano analizę prognostyczną zapotrzebowania na poszczególne grupy półprzewodników, przy czym oszacowania oparto na następującym algorytmie:

- prognoza rozwoju produkcji sprzętu elektronicznego w ujęciu wartościowym z rozbiem na główne grupy asortymentowe;

- oszacowanie procentowego udziału półprzewodników w wartości wytwarzanego sprzętu i określenie proporcji między poszczególnymi grupami przyrządów półprzewodnikowych;
- oszacowanie cen na poszczególne grupy przyrządów półprzewodnikowych i przeliczenie prognoz wartościowych na ilościowe;
- określenie zapotrzebowania na poszczególne rodzaje układów scalonych;
- określenie planu produkcji na podstawie analizy import-eksport-produkcja własna.

W prognozie opartej na ekstrapolacji istniejących trendów nie uwzględnia się zmian jakościowych o charakterze "rewolucyjnym". W potocznym przekonaniu długoterminowe prognozy rozwoju mikroelektroniki są mało wiarygodne ze względu na burzliwy przebieg rozwoju tej dziedziny. Należy jednak zauważyć, że najbardziej nawet spektakularne i szokujące osiągnięcia mikroelektroniki nie pojawiły się skokowo, lecz w wyniku rozwoju ewolucyjnego. Fundamentalne cechy technologii mikroelektronicznej zachowują zadziwiającą trwałość. Od opracowania pierwszych układów scalonych, a więc już niemal trzydzieści lat, nie zmienia się rodzaj materiału (krzem), zasady planarności procesów technologicznych, litograficzna metoda kształtowania wzorów warstw itp. Wprawdzie w ostatnich latach pojawiły się pierwsze układy z GaAs, a do roku 2000 układy scalone z GaAs będą stanowić na świecie ok. 10% wszystkich układów scalonych, jednak dotyczy to głównie układów do zastosowań specjalnych. W Polsce udział tych układów będzie pomijalnie mały. Można więc przyjąć, że do roku 2010 podstawę mikroelektroniki będą stanowiły układy scalone z krzemu przy uwzględnieniu ciągłych, ewolucyjnych zmian w technologii wytwarzania tych układów.

W okresie do roku 2010 wyodrębnia się dwa etapy, tj. 1987 - 2000 oraz 2001 - 2010. Przesłanki techniczne i ekonomiczne rozwoju mikroelektroniki w pierwszym etapie są już niemal w pełni zdeterminowane, a rok 2000 jest tak mało odległy, że oszacowanie potrzeb w pierwszym etapie należy traktować jako wysoce wiarygodną podstawę dla opracowania projektów realizacyjnych.

Analizy dotyczące drugiego etapu mają mniejszy poziom ufności, należy więc je traktować jako rozważania prognostyczne, stanowiące podstawę dla prac planistycznych wymagających weryfikacji i uściśleń w miarę upływu czasu. [...]

Przyjęto, że w roku 2000 średni poziom rozwiązań konstrukcyjnych naszego sprzętu będzie porównywalny ze standardami czołówek światowej z roku 1985. [...]

Rozważono dwa warianty wartości zapotrzebowania na elementy półprzewodnikowe w przeliczeniu na jednego Polaka. [...] Według wariantu 1 osiągniemy w roku 2000 ok. 1/3 poziomu średniego dla krajów RWPG, a przy tym będzie to odpowiadać średniemu poziomowi świata z roku 1987. Oznacza to opóźnienie ok. 10 lat do krajów RWPG oraz ok. 13 lat do średniego poziomu świata. Należy podkreślić, iż chodzi tu o opóźnienie cywilizacyjne, gdyż rozważany wskaźnik traktuje się na świecie jako niekwestionowaną miarę syntetycznej oceny ogólnego poziomu rozwoju poszczególnych krajów. Zatem wariant 1 jest w istocie wariantem trwałego zacofania cywilizacyjnego Polski. Według wariantu 2 osiągniemy w roku 2000 nieco ponad 1/2 poziomu średniego dla krajów RWPG, a w roku 2010 nasze opóźnienie wynosiłoby ok. 5 lat do krajów RWPG oraz 6 - 7 lat do średniego poziomu świata. Jest to więc wariant bardzo umiarkowanego postępu, który należy przyjąć jako minimalny program rozwoju krajowej mikroelektroniki. Dlatego wartość dla wariantu 2 przyjmujemy dalej (w zaokrągleniu) jako punkt wyjścia do innych rozważań ilościowych.

Dla wyodrębnienia elementów optoelektronicznych i półprzewodników dyskretnych przyjmujemy, że udział elementów optoelektronicznych we wszystkich półprzewodnikach będzie w przyszłości na stałym poziomie 4%.

[...] Struktura zużycia poszczególnych grup układów scalonych jest zależna od rodzaju produkowanego sprzętu. Proporcje ilościowe rozpatrywanych grup układów scalonych określono na podstawie analizy tendencji rozwojowych w konstrukcji poszczególnych rodzajów sprzętu.

Tabela 3. Zapotrzebowanie na przyrządy półprzewodnikowe [dolary/1 mieszkańca]

Region	Rok	1985	2000	2010
			Wariant 1/Wariant 2	Wariant 1/Wariant 2
Polska		0,6	9/16	34/58
RWPG		4,0	27	
Świat		6,0	38	

Źródło: [17]

Tabela 4. Zapotrzebowanie krajowego przemysłu na przyrządy półprzewodnikowe

Wielkość	Rok	1985	2000 Wariant 1/Wariant 2	2010 Wariant 1/Wariant 2
Wartość przyrządów półprzewodnikowych [mln \$]		ok. 30	360/630	1430/2420
Wartość układów scalonych Wartość przyrządów półprzewodnikowych		40%	85%	90%
Średnia cena układu scalonego [\$]		0,4	0,8	1,1
Liczba układów scalonych [mln szt.]		30	380/670	1170/1980

Źródło: [17]

[...] Podstawowym założeniem jest postulat samowystarczalności PRL w dziedzinie podzespołów półprzewodnikowych. Chodzi o samowystarczalność globalną, a nie zaspokojenie wszystkich potrzeb częściowych zgłaszanych przez poszczególnych wytwórców sprzętu. Dążenie do wytwarzania w kraju pełnego asortymentu półprzewodników jest ekonomicznie nieuzasadnione, a sam cel - technicznie niewykonalny. Niezbędne jest ograniczenie asortymentu, wydłużenie serii produkcyjnych i zaspokajanie potrzeb na półprzewodniki u nas nie produkowane w drodze wymiany międzynarodowej. W najważniejszej dziedzinie układów scalonych program produkcji jest kształtowany na podstawie następujących przesłanek:

- W Polsce nie uda się osiągnąć dobrych wyników technicznych i ekonomicznych w produkcji układów grupy pierwszej, tj. pamięci, μP itp. Są to układy (głównie pamięci DRAM, a także pamięci SRAM, EPROM oraz popularne typy μP) produkowane przez firmy - kolosy na najwyższym poziomie technologicznym, w niezwykle długich seriach i oferowane na rynkach światowych po bardzo niskich cenach. Produkcja krajowa tych układów będzie prowadzona ze względów strategicznych i jako nośnik najbardziej zaawansowanych technologii, w ograniczonym jednak asortymencie i w ilościach nie wystarczających do zaspokojenia potrzeb producentów sprzętu. [...]

- W ilościach większych od potrzeb własnych będą produkowane układy scalone pozostałych grup, ponieważ nie wymagają one najbardziej wyrafinowanych technologii. Szczególnie mocno należy rozwinąć produkcję układów specjalizowanych, zawierających najwięcej "myśli ludzkiej". [...]

Układy scalone pamięci i mikroprocesorów[...] powinny być w dużej części importowane ewentualnie montowane z importowanych struktur. Te układy scalone (U.S.) osiągają bardzo niskie ceny w wyniku koncentracji i masowej produkcji w kilku najlepszych firmach świata. Założono, że ten import zostanie skompensowany eksportem innych U.S.

Dla uzasadnienia takiego projektu można posłużyć się porównaniem cen różnych U.S. w KDL i na rynkach światowych. Obecnie

Tabela 5. Program produkcji oraz wymiany handlowej układów scalonych [mln szt.]

Rodzaj układów scalonych	2000 r.				2010 r.			
	Produkcja		Eksport	Import	Produkcja		Eksport	Import
	MOS	Bipolarna			MOS	Bipolarna		
Pamięci μ P μ C itp.	100	7		64,5	400	12		268
Standardowe logiczne	120	110	69		534	38	272	
Specjalizowane	170	45	15		648	86	54	
Analogowe	33	160	25		96	352	108	
Razem	423	322	109	64,5	1678	488	434	268
	745				2166			

Źródło: [17]

największa różnica występuje w poziomie cen U.S. VLSI. Porównanie cen U.S. pamięciowych daje 1 \$ = 3000 zł (np. 2114 czy 4164), natomiast dla innych standardowych U.S. można otrzymać 1 \$ = 250 zł (np. 8205)" [17].

Zacytowaliśmy tak obszernie fragmenty opracowania UNIPRO nie tylko po to, aby zachęcić zainteresowanych do przeczytania tej prognozy i skorzystać z wykonanej tam, naszym zdaniem bardzo dobrze (zwłaszcza w odniesieniu do 2000 r.), oceny zapotrzebowania na wyroby elektroniki półprzewodnikowej, ale także w celu zwrócenia uwagi na zbieżność wyników otrzymanych tak różnymi drogami. Dla autorów z UNIPRO punktem wyjścia była analiza rozwoju sprzętu finalnego, a dla autorów niniejszego artykułu porównanie z krajami bardziej od Polski rozwiniętymi. Wnioski, jakie można wyciągnąć z obu analiz, są bardzo zbliżone (nawet wskazany najbardziej opłacalny układ jest układem z rodziny bipolarnych układów towarzyszących układom mikroprocesorowym proponowanym przez nas jako "polska specjalność").

Powróćmy teraz do scenariusza rozwoju elektroniki półprzewodnikowej w Polsce w latach 1996 - 2010. Jeśli do 2000 r. zapotrzebowanie na układy scalone, w przeliczeniu na struktury składające się z 1000 elementów, wzrośnie 4 + 5 razy, to zaspokoić je będzie można (pomijając elementy dyskretne) albo przez wybudowanie 5 dalszych fabryk struktur (obok istniejących już w tym czasie fabryk montażowych), albo przez znaczne zwiększenie skali integracji. Prawdopodobnie będzie się realizować (jak to dziś czyni NRD) oba warianty równolegle [18]. Rozpocznie się eksperyment analogiczny do podjętego obecnie przez firmy SIE-

MENS i PHILIPS, prawdopodobnie z udziałem kapitału zagranicznego (może spółka kilku krajów RWPG?). Będzie on polegał na wybudowaniu od nowa fabryki o technologii submikronowej, mogącej wytwarzać układy klasy obecnych pamięci o pojemności 4 Mbitów. Dobrze by było, aby były to układy stanowiące jednocześnie polską specjalność i analogię funkcjonalną z układami przodujących firm światowych, np. układy bipolarne towarzyszące układom mikroprocesorowym 32- lub 64-bitowym, układy dla zelektronizowanych telefonów, złożone układy CMOS lub układy złożone unipolaro-bipolarne polskiej konstrukcji, ale o kompatybilności w zakresie oprogramowania z IBM. W każdym razie będą musiały to być układy, za które będziemy mogli kupować tańsze układy produkowane masowo przez ZSRR lub - o ile zostanie zniesione embargo - przez kraje kapitalistyczne.

W tym samym czasie fabryki zajmujące się do tej pory głównie montażem importowanych struktur, umieszczane przez nas umownie w okolicach Wrocławia i Torunia, zaczną wykształcać u siebie wydziały produkujące prostsze struktury i zapewnią podstawowy wzrost ilościowy przemysłu mikroelektronicznego wytwarzającego podzespoły dla spu oraz popularnych mikrokomputerów i mini-komputerów.

Trzecią ważną linią rozwoju w latach 1996 - 2010 będzie wybudowanie na skalę przemysłową wytwórni 2 - 3 rodzin dyskretnych przyrządów półprzewodnikowych o wysokiej zawartości myśli ludzkiej, np. wytwórni zespołów nadawczych i odbiorczych dla telekomunikacji światłowodowej, fotodetektorów dla techniki pomiarowej (np. teletetrycznych), termistorów dla sprzętu po-

miarowo-kontrolnego, detektorów średniej podczerwieni lub innych (decyzje w tej sprawie muszą zapaść do 1995 r. na podstawie oceny postępu w pracach badawczych, rozwoju produkcji laboratoryjnej i doświadczalnej oraz, oczywiście, oceny stanu konkurencji), a może także wytwórni podzespołów o przeznaczeniu specjalnym, np. przyrządów mikrofalowych, bądź układów scalonych wytrzymałych na warunki ekstremalne.

Rozwój w latach 2000 - 2010, czyli prawdopodobnie przeskok od obecnego poziomu krajów EWG do obecnego poziomu USA i Japonii, poprzez poziom "czterech tygrysów", będzie pobudzany przez istniejący już wówczas i liczący się realnie przemysł podzespołowy i sprzętowy. Podobnie jak dziś w krajach EWG, państwo będzie przede wszystkim musiało dbać o zmuszenie istniejących już dużych ośrodków, np. warszawskiego, wrocławskiego i toruńskiego oraz tego, który będzie dysponował technologią submikronową, do połączenia swych wysiłków w celu stworzenia wszechstronnego przemysłu mikroelektronicznego zdolnego wytwarzać układy i masowe, i wyspecjalizowane, bardzo szybkie, mocy, tzw. "na zamówienie" itp. Wytwarzanie układów standardowych, potrzebnych w dużych ilościach jednemu lub kilku masowym wytwórcom finalnym, przejmą na siebie z kolei rozrastające się w oddzielne fabryki oddziały podzespołowe przy POLCOLORZE, WZT, ELTRZE i innych, naśladujących je w dziewięćdziesiątych latach zakładach. Zakłady z końca lat dziewięćdziesiątych, które poprzednio nazwaliśmy zakładami "o wysokiej zawartości myśli ludzkiej", również zbliżą się do tych, które nazwaliśmy "dużymi ośrodkami", by

wspólnie dać zaczątek produkcji układów scalonych optoelektronicznych lub skomplikowanych podzespołów funkcjonalnych.

Cechą istotną lat 2000 - 2010 powinno stać się "samonapędzanie przemysłu elektronicznego", tj. zjawisko obserwowane jeszcze słabo w krajach EWG, a już wyraźnie u "czterech tygrysów", polegające na tym, że przemysł sprzętu finalnego, zajmujący się również (poprzez wytwarzanie np. elementów automatyki) elektronizacją innych branż, przejmie na siebie sterowanie i, co najważniejsze, finansowanie przemysłu podzespołowego. Państwo natomiast pozostanie zainteresowane tylko "wielką polityką" w dziedzinie elektronizacji, tj. regulowaniem stosunków międzynarodowych w tej dziedzinie, czuwaniem nad wpływem wielkich korporacji ponadnarodowych, nad bilansem przepływu kapitałów, "know-how" oraz preferowaniem polityki podatkowo-zamówieniowej najważniejszych, acz stosunkowo wąskich frontów rozwoju.

Nie można też zapominać, że np. planiści amerykańscy ustalający dalekosiężne cele w rozwoju techniki i elektronizacji już dziś oceniają, iż połowa wszystkich zastosowań elektroniki półprzewodnikowej w 1995 r. nie jest obecnie nawet przeczuwana. Dopuśćmy więc i my taką możliwość, ze wszystkimi jej konsekwencjami chociaż do roku 2010.

L i t e r a t u r a

1. K i n g A.: Mikroelektronika i społeczeństwo. Raport Klubu Rzymskiego. Warszawa: Książka i Wiedza 1987.
2. S w o b o d a J.: Częstkowa prognoza rozwoju technologii budowy maszyn do 2000 r. w odniesieniu do specjalistycznych technologii w elektronice. Prognoza dla RWPG. Warszawa: ITE grudzień 1982.
3. Ś w i d e r s k i J.: Elektronizacja gospodarki w Polsce na tle wybranych krajów socjalistycznych i kapitalistycznych. Prace ITE 1988 z. 7 s. 1-56.
4. Protokoły nr 7, 8, 9 i 10 Rady do spraw Mikroelektronicznej Bazy Podzespołowej Międzyrządowej Komisji Współpracy Krajów Socjalistycznych do spraw Techniki Obliczeniowej 1985 - 1988 (materiały poufne).
5. Aktualne kierunki rozwoju elektronicznego przemysłu w Jugosławii i perspektywy współpracy naukowo-technicznej pomiędzy polskimi i jugosłowiańskimi zakładami elektronicznymi w latach 1987 - 1992. Opracowanie Delegatury PHZ UNITRA w Belgradzie. Belgrad 1987.
6. Ś w i d e r s k i J.: Oddziaływanie centralnych organów państwowych w wybranych krajach na rozwój i organizację elektroniki oraz elektronizacji. Warszawa: Ośrodek Informacji Centralnej CİNTE 1988.
7. K i n g A.: Mikroelektronika a społeczeństwo (3). Mikroelektronika a suwerenność w skali świata. Prz.techn. 1983 nr 6 s. 34 - 36.

8. P r z y ł u s k i J., S z c z ę s n y Z.: Stan aktualny i kierunki rozwoju sprzętu elektronicznego i dziedzin pokre-
nych w Stanach Zjednoczonych (opracowanie studialne). Warsz-
wa: Politechnika Warszawska, maj 1986 s. 46.
9. Ś w i d e r s k i J.: Aktualna sytuacja mikroelektroniki w
Polsce. Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Przyjaciół Klubu
Rzymskiego (w druku).
10. Materiały na wyjazdowe posiedzenie sekretariatu KW PZPR w
Bydgoszczy poświęcone elektronizacji. Bydgoszcz 1987.
11. Rocznik statystyczny przemysłu elektronicznego 1985 - 1986.
Warszawa: UNITRA 1987 s. 77.
12. K o b u s A., K a s s u r A.: Mikroelektronika MOS. Elek-
tronika 1986 nr 12 s. 4 - 8.
13. P i o t r o w s k a A., M r o z i e w i c z B.: Optoelek-
tronika. Elektronika 1986 nr 12 s. 9 - 15.
14. K l a m k a J.: Półprzewodnikowa elektronika mikrofalowa.
Elektronika 1986 nr 12 s. 16 - 19.
15. K u ź m a C.: Termistory. Elektronika 1986 nr 12 s. 20 - 22.
16. Program elektronizacji gospodarki narodowej w latach 1986 -
- 1990 (II aktualizacja). Warszawa: MHiPM, październik 1986
(opracowanie poufne).
17. M a r c i n i a k W., K o s z u r J., M y s z a k J.:
Koncepcja rozwoju przemysłu mikroelektronicznego w Polsce
do roku 2010. Generalny projektant S. Stępień. Warszawa:
UNITRA-UNIPRO 1987.
18. Zarys programu przemysłu mikroelektronicznego w Polsce.
Opracowanie nr 256/6/86 SEP pod red. W. Marciniaka, J. My-
szaka i S. Stępnia. Warszawa: SEP, październik 1986.