

Wynalazek tranzystora z pewnością zapoczątkował nową erę w elektronice. Z początku lat 60-tych tranzystory były już powszechnie stosowane w wielu urządzeniach codziennego użytku i w przemyśle. Szybko rozpowszechniły się także przenośne radioodbiorniki tranzystorowe. Wraz z ogromnym wzrostem produkcji tranzystorów ich ceny spadły do poziomu przysłowiowych paru groszy za sztukę. Szybko odebrały lampom elektronowym dotychczasową przewagę i zepchnęły je do zastosowań wyspecjalizowanych, zajmowanych przez kineskopy telewizyjne, lampy oscylograficzne, magnetrony, zwieraki nadawanie-odbiór, klustrony do radarów i nadajniki dużej mocy.



### Zastosowania militarne

Jedną z głównych sił napędzających rozwój układów scalonych była potrzeba doskonalenia urządzeń wojskowych. Druga wojna światowa wykazała wysoką skuteczność militarnych systemów elektronicznych. Radar odnosił niezwykle sukcesy, a urządzenia elektroniczne znalazły zastosowanie w wielu nowych dziedzinach techniki wojennej.

W miarę jak sprzęt elektroniczny stawał się coraz bardziej złożony i skomplikowany, mnożyły się trudności, a jego fizyczne rozmiary rosły. Było to szczególnie niekorzystne w zastosowaniach lotniczych, dla których rozmiary i waga, wobec ograniczonej nośności samolotów, miały decydujące znaczenie.

Drugą poważną wadą coraz bardziej złożonych urządzeń elektronicznych była ich malejąca niezawodność. Dochodziło do tego, że czas potrzebny na ich konserwację przewyższał czas eksploatacji. Dotyczyło to szczególnie komputerów lampowych.

Przy pomocy nowych technik konstrukcyjnych niektóre z tych trudności udawało się ograniczać, ale nie eliminować. Miniaturyzacja lamp elektronowych oraz technika obwodów drukowanych pozwoliły zmniejszyć wymiary urządzeń i poprawić ich niezawodność. Jednak rozmiary były ciągle zbyt duże, a niezawodność niezadowalająca.

W roku 1948 w Związku Radzieckim dokonano pierwszej eksplozji jądrowej. W połączeniu z rozwijającą się

szybko techniką raketową oznaczało to wielkie zagrożenie dla USA, realną możliwość radzieckiego ataku atomowego. Przy ówczesnym stanie techniki atak dawało się wykryć, gdy na obronę już było za późno. Potrzeba nowych metod wykrywania zagrożenia stała się więc nagląca. Metody takie wymagały bardzo złożonych systemów elektronicznych.

### Tinkertoy

Zagrożenie bezpieczeństwa narodowego było jednym z powodów podjęcia przez rząd Stanów Zjednoczonych w roku 1951 projektu pod kryptonimem "Tinkertoy". W ramach tego przedsięwzięcia przystąpiono do rozwiązywania problemu rozmiarów i niezawodności

sprzętu elektronicznego. Przebadano szereg rozwiązań, z których niejedno jest w użyciu do dzisiaj. Powstała wówczas technologia dwustronnych, a nawet wielowarstwowych, płytek drukowanych wraz z techniką wykonywania w nich metalizowanych otworów. Włączenie tranzystorów do tej technologii mogło wydawać się oczywiste, ale tranzystor był wtedy produktem zupełnie nowym i zawodnym.

Rodziły się wówczas nowe opracowania i pomysły. W Anglii dr G. Drummer z Royal Radar Establishment rzucił pomysł konstruowania układów półprzewodnikowych w jednolitych blokach i wyeliminowania łączących je zewnętrznych przewodów. Była to idea naów-



Kolekcja pierwszych tranzystorów germanowych.

czas przedwcześnie, niemniej zadziwiająco dokładnie przepowiadała kierunek rozwoju układów scalonych.

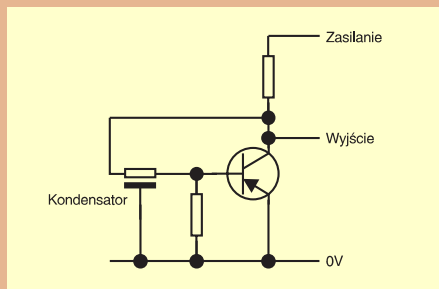
W rok później, w maju 1953, H. Johnson z Radio Corporation of America (RCA) zgłosił pierwszy patent na układ scalony. Zaproponował umieszczenie wszystkich składników oscylatora na jednej płytce krzemu. Sprecyzował on sposób wykonania wszystkich elementów, ale że pierwszy tranzystor złączowy p-n dopiero co powstał, nie było więc jeszcze technologii umożliwiającej wprowadzenie nowego rozwiązania w życie.

## Miniaturyzacja

W roku 1957 tranzystory zaczęły się rozpowszechniać, a zakres ich zastosowań rósł szybko. Zaczęły przenikać nawet do sprzętu wojskowego, w którym tradycyjnie używano wypróbowanych i sprawdzonych technologii. Zauważmy z dumą, że w Polsce seryjną produkcję tranzystorów rozpoczęto już w 1958 roku w nowo powstałej fabryce półprzewodników "Tewa" w Warszawie.

Szybko stało się oczywiste, że zastosowanie tranzystorów może przynieść istotną poprawę niezawodności urządzeń i wydatnie zmniejszyć ich wymiary. Projekt Tinkertoy został więc uzupełniony o technologie półprzewodnikowe. Prace te zostały rozdzielone pomiędzy różne równoległe działające przedsiębiorstwa. Jednym z nich była firma Texas Instruments, która wyprodukowała pierwszy tranzystor krzemowy i jeden z pierwszych tranzystorów polowych. W rok po uruchomieniu projektu Tinkertoy w Texas Instruments rozpoczął pracę bardzo zdolny młody inżynier, Jack Kilby. Już na początku, pracując na własną rękę w czasie corocznej przerwy wakacyjnej, dokonał dużego postępu. Zaczął od wykonania kilku oscylatorów na jednej płytce germanowej. Układ był prosty, ale nadawał się do sprawdzania wykonalności technologii. Kilby przygotował następnie oscylator na płytce krzemowej i 12 września 1958 roku jego układ zaczął działać. Na rysunku przedstawiono szczegóły pierwszego układu scalonego Kilby'ego. Następnym krokiem było wykonanie partii tych układów dla sprawdzenia powtarzalności procesu. To także się powiodło i uzysk okazał się duży.

Ponieważ rząd USA podpisał szereg zbliżonych kontraktów z pewną liczbą firm, nie było dziwne, że ich wyniki prowadziły do podobnych konkluzji. Zatrudniony w Fairchild Robert Noyce doszedł do wniosku, że nie jest mądre produkowanie większej liczby tranzystorów na jednej płytce, aby ją potem pociąć na indywidualne tranzystory, łączone następnie ze sobą w układach. Zespół kiero-



Pierwszy układ scalony Kilby'ego.

wany przez Noyce'a opracował w 1959 r. tzw. technologię planarną, której znamienitą cechą jest wytwarzanie w jednym litym krysztale krzemu wielu tranzystorów, łączonych następnie, zgodnie z określonym schematem, za pomocą ścieżek aluminiowych leżących na izolacyjnej warstwie SiO<sub>2</sub>. Z uzupełniających się idei Kilby'ego i Noyce'a wywodzi się większość współczesnych technologii produkcji układów scalonych, trzeba więc ich obu uznać za wynalazców tych układów.

## Przyspieszenie

Podobnie jak wiele innych rewolucyjnych wynalazków, układy scalone nie odniosły natychmiastowego sukcesu. Pomysł pobudził wprawdzie wyobraźnię wielu inżynierów i naukowców, ale wysokie koszty produkcji ograniczały użycie układów scalonych do bardzo małej liczby wyspecjalizowanych zastosowań. Pierwsze układy scalone ukazały się na rynku dopiero w roku 1961. Produkowały je tylko dwa przedsiębiorstwa, Texas Instruments i Fairchild, w cenie po 120 dolarów za sztukę, nic więc dziwnego, że ich zastosowanie nie było duże.

I wtedy, w roku 1961 prezydent Kennedy sformułował swoją wizję badań kosmicznych, oznajmiając że USA z końcem dekady wyślą człowieka na księżyc. Dla osiągnięcia tego celu potrzeba było wielkich funduszy na opracowanie niezbędnych nowych technologii.

Jedną z najważniejszych dziedzin wymagających przyspieszenia była elektronika. Rozmiary, ciężar i niezawodność urządzeń to były wymagania decydujące. Wobec tych perspektyw zaczęło się pojawiać coraz więcej układów scalonych, chociaż ich ceny ciągle były wysokie.

Postęp w tej dziedzinie początkowo nie był łatwy. Rezultatem napotykanego trudności były wysokie koszty produkcji. Głównym problemem był uzysk w produkcji. Dokładność wymagana przez stosowane technologie nie była w pełni osiągalna, skutkiem czego procentowy udział wybrakowanych układów był duży. Nawet w produkcji układów zawierających kilka dziesiątków elementów osiągnąć uzysk w granicach tylko 10%.

W latach 60-tych większość prac była zatem nakierowana na podwyższenie uzysku. Postęp dokonywał się przeważnie w USA dzięki wielkości środków finansowych przeznaczonych na badania kosmiczne. Jednakże w innych krajach prace także posuwały się naprzód, zwłaszcza w Europie.

W Japonii, która szybko stawała się światową potęgą ekonomiczną, wcześniej doceniono znaczenie technologii półprzewodnikowej. W większości dziedzin badawczych, od produkcji pierwszych tranzystorów do technologii układów scalonych, kraj ten był opóźniony jedynie o dwa lata w stosunku do USA. Pierwsze japońskie układy scalone, produkcji Nippon Electric Company (NEC), ukazały się na rynku w 1965. Pięciu największych japońskich producentów układów scalonych w roku 1975 zawarło wraz z rządem porozumienie o współpracy badawczej. Przyniosło ono ogromne zyski, doprowadzając niektóre z tych przedsiębiorstw na czoło listy największych producentów układów scalonych.

## Nowe technologie

Początkowo we wszystkich technologiach układów scalonych stosowano technikę bipolarną. Bardzo szybko okazało się, że głównym czynnikiem ograniczającym rozmiary i złożoność układów scalonych jest wydzielanie się w nich ciepła. Przy dużej liczbie elementów mieszczących się na bardzo małej powierzchni, problemy cieplne były o wiele rzędów wielkości większe niż w układach złożonych z elementów dyskretnych. Początkowo skoncentrowano się na poszukiwaniu skuteczniejszych metod odprowadzania ciepła, ale osiągalne tą drogą możliwości szybko się wyczerpały. Było oczywiste, że zwiększenie gęstości upakowania układów scalonych wymaga bardziej zdecydowanych środków.

Rozwiązanie znalazło się w postaci nowej technologii tranzystorów. Wielkimi zaletami powstałych w 1963 tranzystorów polowych są: niemal zerowy prąd wejściowy bramki, bardzo mała oporność kanału w trakcie przewodzenia i bardzo duża w trakcie zablokowania. Tranzystor polowy okazał się więc idealny do układów cyfrowych, których pobór prądu można było dzięki niemu obniżyć o wiele rzędów wielkości.

W tej dziedzinie znowu przodował Texas Instruments, który pierwszy wprowadził na rynek układy MOS w roku 1966. Pierwszym układem tej technologii był przetwornik dwójkowo-dziesiętkowy, a wkrótce pojawiło się wiele następujących.

kp