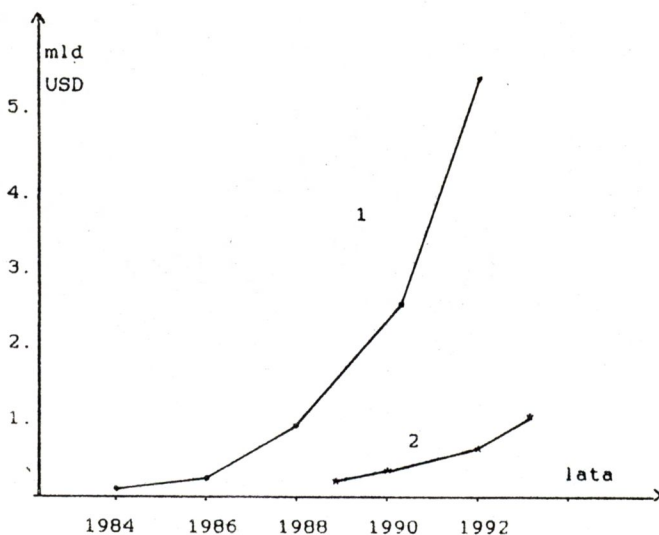


Układy scalone z arsenku galu

1. WSTĘP

Diody i tranzystory z GaAs już ponad 20 lat mają trwałą pozycję w optoelektronice i elektronice mikrofalowej. Równie dawne są próby zastosowania GaAs do wytwarzania układów scalonych. Jednak do połowy lat osiemdziesiątych krzem był jedynym materiałem półprzewodnikowym stosowanym do wytwarzania układów scalonych. Pojawienie się 1984 roku pierwszych rynkowych układów arsenkowo-galowych wywołało hurra-optimistyczne prognozy układów rozwoju tej technologii.

Wielkość produkcji układów scalonych z GaAs szacowano na 4-6 mld USD w roku 1992. Obecnie, po kilku latach niezwykle trudnej walki o rynek, prognozuje się znacznie skromniejszą wielkość produkcji rynkowej, 0,5-1 mld USD w roku 1992 (rys. 1).



Rys. 1. Prognozy rozwoju produkcji rynkowych układów scalonych z GaAs
1 - prognoza z roku 1984, 2 - prognoza z roku 1989

Całkowita wartość produkcji US GaAs jest ok. 2 razy większa, gdyż oprócz układów rynkowych wytwarza się również dużo układów na potrzeby własne firm. Udział układów analogowych i cyfrowych jest mniej więcej jednakowy.

Poza układami cyfrowymi i analogowymi w technologii GaAs rozwija się odrębna grupa układów scalonych optoelektronicznych.

2. UKŁADY CYFROWE

Zainteresowanie technologią układów scalonych cyfrowych z GaAs wynika z następujących zalet tego materiału (w porównaniu z Si):

- większa ruchliwość elektronów ($8000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dla GaAs wobec $1350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dla Si), co prowadzi do większej szybkości działania układów lub mniejszego poboru mocy,
- większa szerokość pasma zabronionego (1,43 eV dla GaAs wobec 1,1 eV dla Si), co zwiększa dopuszczalną temperaturę pracy układów do 250-300°C (dla Si - 150-200°C),
- duża odporność GaAs na wpływ promieniowania jonizującego.

Wymienione zalety przejawiają się w różnym stopniu w zależności od konstrukcji i przeznaczenia układu scalonego. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na dwa zagadnienia.

1. Korzyści wynikające ze zwiększonej dopuszczalnej temperatury pracy są częściowo eliminowane wskutek mniejszej przewodności cieplnej ($0,5 \text{ W/cm}^2\text{C}$ dla GaAs wobec $1,4 \text{ W/cm}^2\text{C}$ dla Si).
2. W elementach o wymiarach submikronowych, czyli na poziomie współczesnych technologii, występują tak duże natężenia pola elektrycznego, że ruchliwość słabopółowa traci znaczenie. O szybkości działania elementów decyduje tzw. szybkość nasycenia elektronów, nie zaś ich ruchliwość. Często twierdzi się w tym kontekście, że GaAs nie oferuje żadnych korzyści, gdyż szybkości nasycenia elektronów są prawie jednakowe w GaAs i Si. Należy jednak pamiętać, że wartości nasycenia są podane dla materiałów samoistnych lub słabo domieszkowanych. W realnych konstrukcjach układów scalonych półprzewodnik jest dość silnie domieszkowany, a w takich warunkach szybkość nasycenia elektronów w GaAs jest kilkakrotnie większa niż w Si.

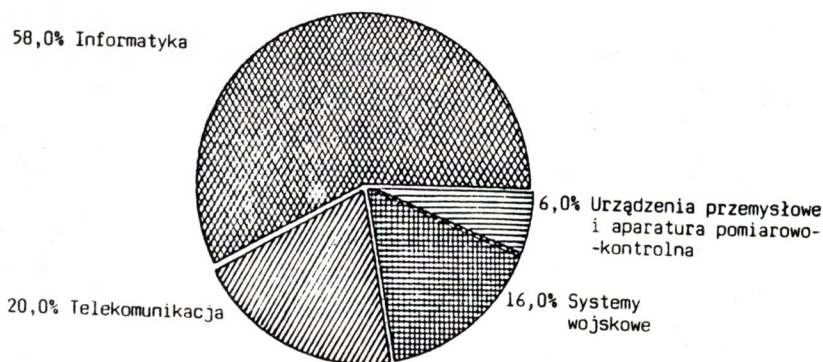
Wymienionym zaletom należy przeciwstawić następujące wady GaAs:

- brak stabilnego "naturalnego" tlenku lub innej odpowiedniej warstwy dielektrycznej, co uniemożliwia stosowanie struktur MOS,
- konieczność zastosowania specjalnych środków przeciwdziałających rozkładowi materiału podczas procesów wysokotemperaturowych,
- brak możliwości tworzenia inwerterów CMOS z powodu bardzo małej ruchliwości dziur ($400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$), a więc niemożności uzyskania "szybkich" tranzystorów z kanałem typu p,
- wysoka cena płytek podłożowych z GaAs (1-5 USD za 1 cm^2 , wobec 1,0-0,5 USD za 1 cm^2 płytki Si).

Rozważając szanse rynkowe układów scalonych cyfrowych z GaAs należy uwzględnić fakt, że nie istnieje odrębny sektor rynku zbytu dla tych układów. Technologia arsenkowo-galowa musi się "wdzierać" na pole zajęte przez technologię krzemową, przede wszystkim na pole należące do układów ECL. Istnieje zgoła koncepcja wytwarzania układów GaAs stanowiących funkcjonalne odpowiedniki układów ECL. Interesujące perspektywy zastosowań takich zamienników zaznaczają się w związku ze wzrostem szybkości działania

krzemowych mikroprocesorów, stanowiącej wynik zastosowań zredukowanej listy rozkazów (RISC). Szybki mikroprocesor wymaga szybkich układów towarzyszących - pamięci i układów logicznych. Tu właśnie otwierają się nowe możliwości zastosowań układów z GaAs.

Z drugiej strony, technologia krzemowa nie stoi w miejscu i postęp osiągnięty w ostatnich latach w szybkości działania układów krzemowych pozwala im skutecznie rywalizować pod tym względem z układami arsenkowo-galowymi. Ponadto, układy krzemowe są kilkakrotnie tańsze i pod względem stopnia scalenia przewyższają układy GaAs o 2-3 generacje. W tej sytuacji "siła przebicia" układów arsenkowo-galowych na rynku jest bardzo ograniczona. Liczne firmy przystąpiły do rywalizacji na rynku układów z GaAs, kuszone wielkimi perspektywami zbytu tych układów. Dość szybko jednak okazało się, że prognozy zbytu układów z GaAs były przesadzone, przy czym przesadny optymizm tych prognoz był zamierzony: nowe firmy poszukiwały kapitałów do wspólnych przedsięwzięć. Niektóre duże firmy, zaliczane do pionierów technologii GaAs, takie jak Texas Instruments, Honeywell, Mc Donnell Douglas, zamroziły plany produkcji rynkowej, ograniczając swoją aktywność do prac badawczych i realizacji kontraktów wojskowych. Spośród nowych firm, których domeną działania miały być wyłącznie układy cyfrowe z GaAs, tylko nieliczne przetrwały i utrzymały szanse rozwoju. W tej grupie czołówkę stanowią trzy firmy amerykańskie: Giga Bit Logic, Tri-Quint, Vitesse. W ogóle, ok. 75% światowej produkcji tych układów przypada na USA. Najbardziej spektakularnym osiągnięciem aplikacyjnym jest zastosowanie układów logicznych z GaAs w konstrukcji najnowszego superkomputera Cray-3. Komputer ten działa z szybkością 16 mld operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę. Składa się on z 16 procesorów, każdy zbudowany z 4096 logicznych układów scalonych z GaAs zawierających ok. 500 bramek i działających z trzykrotnie większą szybkością niż analogiczne układy krzemowe. Producentem tych układów jest Giga Bit Logic, a tzw. drugim dostawcą - Rockwell. Poza informatyką, US cyfrowe z GaAs znajdują zastosowania w telekomunikacji, w systemach wojskowych oraz urządzeniach przemysłowych i aparaturze pomiarowo-kontrolnej. Strukturę rynku tych układów w roku 1990 przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Struktura rynku układów scalonych cyfrowych z GaAs

3. UKŁADY ANALOGOWE

Elementy dyskretne z GaAs, takie jak tranzystory MESFET, HEMT, diody Schottky'ego, od dawna znajdują zastosowanie w mikrofalowych układach scalonych wytwarzanych technologią hybrydową (MIC - ang. Microwave Integrated Circuit). Pozycja technologii arsenkowo-galowej w tej dziedzinie jest bezkonkurencyjna, gdyż górna częstotliwość pracy dla tranzystorów krzemowych wynosi kilka GHz, podczas gdy dla tranzystorów z GaAs sięga 100 GHz. W ostatnich latach układom scalonym hybrydowym (MIC) wyrósł silny konkurent w postaci układów scalonych monolitycznych (MMIC - ang. Microwave Monolithic Integrated Circuit), tj. układów wytwarzanych w całości w kryształach GaAs. Poza tranzystorami i diodami we wspólnym kryształach GaAs wytwarza się następujące elementy bierne:

- rezystory cienkowarstwowe,
- rezystory implantowane,
- induktry,
- kondensatory MIM (ang. Metal-Insulator-Metal).

Ścieżki połączeniowe w takim układzie spełniają funkcje linii mikropaskowych o bardzo małych stratach transmisji.

Układy scalone monolityczne (MMIC) w porównaniu z układami scalonymi hybrydowymi (MIC) mają następujące zalety i wady.

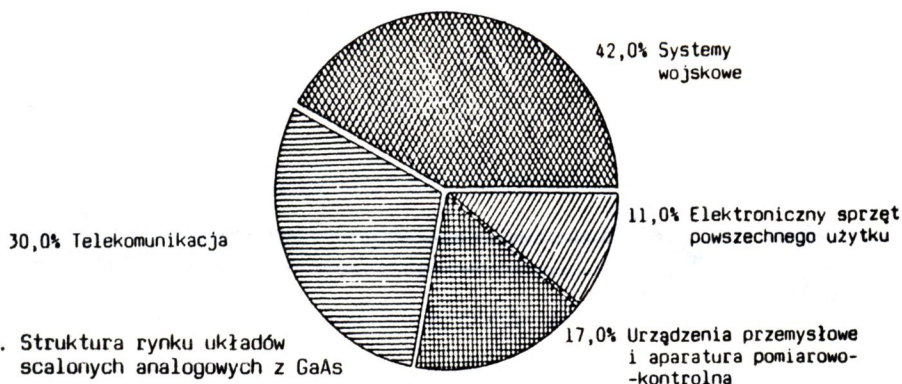
Zalety:

- mniejsze rozmiary,
- większa niezawodność
- taniejsze (o ile jest duży uzysk), ze względu na wsadowy system produkcji,
- większa częstotliwość graniczna (MMIC-100 GHz, MIC-40 GHz),
- lepsze właściwości szumowe,
- większa zgodność parametrów identycznych elementów.

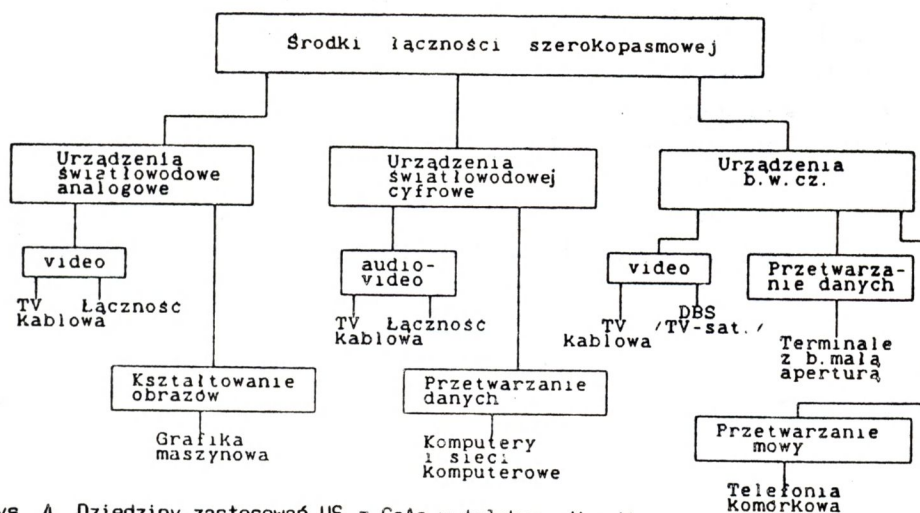
Wady:

- brak możliwości korekcji rezystorów,
- trudności w uzyskaniu induktorów o dużej dobroci,
- gorsze właściwości termiczne,
- wyższa cena podłoża GaAs niż podłoża ceramicznego.

Układy MMIC są stosowane głównie w systemach wojskowych i w telekomunikacji. Strukturę rynku tych układów w roku 1990 przedstawia rys. 3. Podział tego rynku między USA, Europę, Japonię i resztę świata wynosi odpowiednio: 80%, 11%, 7%, 2%. Podstawowe dziedziny zastosowań US z GaAs w telekomunikacji zestawiono na rys. 4. Firmami najbardziej dynamicznie działającymi na rynku układów scalonych analogowych z GaAs są: Anadigic i Plessey. Awangardę działań rozwojowych w tej dziedzinie wyznacza amerykański program rządowy znany pod skrótową nazwą MIMIC (ang. - Micro/Milimeter Wave Integrated Circuit). Ten siedmioletni program (4 etapy), rozpoczęty w 1987 r., jest realizowany przez 16 zespołów wybranych przez Pentagon spośród 48 firm zgłoszonych do konkursu. Nakłady rządowe na ten program wynoszą 536 mln USD



Rys. 3. Struktura rynku układów scalonych analogowych z GaAs



Rys. 4. Dziedziny zastosowań US z GaAs w telekomunikacji

4. UKŁADY OPTOELEKTRONICZNE

Układy optoelektroniczne (OEIS - ang. Opto Electronic Integrated Circuit) są najnowszą dziedziną rozwoju układów scalonych z GaAs (pionierskie prace wykonano w firmie Honeywell), specyficzną dla tego materiału i nie mającą odpowiednika w technologii krzemowej. Idea tych układów polega na połączeniu w jednym kryształce przetworników sygnałów elektrycznych w optyczne (lasery, diody świecące) oraz optycznych w elektryczne (fotodetektory) z układami sterowania i przetwarzania sygnałów. Perspektywy tej dziedziny są wzmacniane przez rozwój technologii podłoży GaAs na Si oraz technologii supersieci, czyli układów wielowarstwowych GaAs i GaAlAs z warstwami o grubości ok. 1 nm.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Euro III-V s Review, No 3-6,
- [2] Electronics, rocznik 1988, 1989