

Tranzystory SiGe

Przez co najmniej kilkanaście lat wydawało się, że german nieodwracalnie przestał liczyć się jako materiał, z którego wykonuje się elementy półprzewodnikowe. Starsi elektronicy pamiętają germanowe tranzystory, które miały zatrważająco wielkie prądy zerowe, a współczynnik wzmocnienia prądowego częstotliwość był mniejszy od 10.

German nie przeszedł jednak do lamusa historii. Pod pewnymi względami jest lepszy od krzemu. Dlatego w dobie absolutnej hegemonii krzemu trwały próby wykorzystania zalet germanu. Zaowocowały one w 1987 roku wyprodukowaniem pierwszego heterozłączonego tranzystora (w skrócie HBT - heterostructure bipolar transistor) krzemowo-germanowego (SiGe).

Pomysł budowy tranzystora heterozłączonego, czyli zbudowanego z co najmniej dwóch różnych materiałów, nie jest nowy. Pojawił się pod koniec lat 40., na samym początku epoki tranzystorowej, a w latach 50. zyskał podstawy teoretyczne. Praktycznej realizacji doczekał się w roku 1967, gdy zaprezentowano użyteczny heterozłączony tranzystor GaAs i AlGaAs. Tranzystory GaAs (z arsenku galu) są dziś powszechnie wykorzystywane w sprzęcie w.c.z.

Określenie HBT SiGe mogłoby sugerować, że tranzystor zbudowany jest w połowie z krzemu i w połowie z germanu. Prawda jest zupełnie inna. Jest to generalnie tranzystor krzemowy, wytworzony w technologii epitaksjalnej. Bardzo cienka warstwa germanu jest jedynie nałożona na (krzemowy) obszar bazy. W ten sposób tylko obszar bazy zbudowany jest z krzemu i dodatkowej, cieniutkiej warstwy germanu. Dodanie germanu do obszaru bazy krzemowego tranzystora spowodowało znaczne zwiększenie ruchliwości nośników, a tym samym częstotliwości granicznej, oraz obniżenie szumów.

Stworzenie użytecznych elementów aktywnych SiGe nie było łatwe ze względu na istotne różnice wielkości modułu siatki krystalicznej krzemu i germanu (4,2%). Właśnie dlatego nałożona warstwa germanu nie może być gruba. Potrzeba było kilku lat badań, by ostatecznie przezwyciężyć występujące trudności technologiczne, aby w nałożonej warstwie germanu nie było defektów i by była trwała.

Już w 1997 zademonstrowano pierwszy użyteczny tranzystor HBT. W roku 1990 zaprezentowano tranzystor SiGe o częstotliwości granicznej równej 75GHz (tranzystory krzemowe mają częstotliwość graniczną co najwyżej kilka GHz). Dziś godne uwagi są doniesienia o tranzystorach SiGe mających częstotliwość graniczną powyżej 120GHz. Współpracujące ze sobą firmy IBM i Analog Devices pokazały 12-bitowy przetwornik A/D o szybkości 1GS/s zawierający 2854 tranzystorów SiGe. Zademonstrowano liczne wzmacniacze, mieszacze i oscylatory na zakres częstotliwości 2...40GHz. Pod koniec 1996 roku zademonstrowano tranzystor mocy SiGe nadający się do pracy w systemach radarowych 2,8GHz przy mocy 230W w impulsie. Skonstruowano prototypy różnych cyfrowych układów scalonych, mogących pracować przy prędkości 20...30Gbit/s, gdzie czas propagacji bramki jest rzędu kilkunastu pikosekund.

Co bardzo ważne, elementy SiGe mogą być wytwarzane na typowych "krzemowych" liniach technologicznych. Gwarantuje to niski koszt produkcji, trochę wyższy od klasycznych elementów krzemowych. Jest to ogromnie ważna zaleta, ponieważ elementy z arsenku galu (GaAs) są zdecydowanie droższe od elementów SiGe, mniej więcej czterokrotnie, nie mówiąc o jeszcze szybszych i jeszcze droższych elementach z fosforu indu (InP).

Przed elementami SiGe roztaczają się szerokie perspektywy. W laboratoriach firm i instytutów trwają też próby wytworzenia już nie układów scalonych, ale całych systemów mikrofalowych SiGe, zawierających oprócz elementów aktywnych, także pasywne (kondensatory, cewki i linie transmisyjne), na zakres częstotliwości do kilkudziesięciu GHz. W tym wypadku stosuje się elementy mikromechaniczne (MEMS) ze względu na specyficzne wymagania związane ze stratami przy bardzo wysokich częstotliwościach.

Z różnych ośrodków badawczych nadchodzi informacje o próbach wykorzystania polowych tranzystorów SiGe (MODFET, HFET) oraz elementów optycznych SiGe, mogących pracować w zakresie mikrofalowym. Choć generalnie tranzystory polowe SiGe są dopiero na etapie wstępnych badań, na przykład firma AmberWave we współpracy z DaimlerChrysler AG już oferuje tranzystor polowy HEMT (High Electron Mobility Transistor) typu DC-2060. Jest to rodzaj FET-a SiGe, mogący pracować do 20GHz jako wzmacniacz, a w układach generacyjnych do 60...80GHz.

Trwają prace nad opanowaniem technologii wytwarzania komplementarnych tranzystorów polowych SiGe. Bada się możliwości zintegrowania klasycznych elementów CMOS, fotodiod i elementów SiGe (HBT, HEMT) w jednej strukturze. Jeden układ scalony zawierałby na krzemowym podłożu elementy czynne CMOS (klasyczne i SiGe), źródła promieniowania na bazie Si/SiGe (zamiast dzisiejszych diod LED), odbiorniki promieniowania (fotodiody), a nawet zintegrowane krzemowe światłowody (dla przypomnienia - szkło zbudowane jest też na bazie krzemu). Powstały już pierwsze laboratoryjne LED-y i fotodetektory SiGe. Bardzo obiecujące są perspektywy czujników podczerwieni 3...12μm do systemów termowizyjnych. Zbudowano prototypy detektorów promieniowania w postaci matryc zawierających do 400x400 elementów.

Nie ulega wątpliwości, że różnorodne elementy SiGe szybko zajmą ważne miejsce na rynku i już wkrótce będą powszechnie stosowane w komunikacji ruchomej (MOBICOM - MOBIle COmmunication), satelitarnej (SATCOM), światłowodowej (FIBRECOM) oraz bezprzewodowych lokalnych sieciach komputerowych (WLAN - Wireless Local Area Network) - zobacz rysunek tytułowy.

(red)

