



ELEMENTY RADIOELEKTRONIKI

Omawiane w ostatnim numerze diody próżniowe, będące lampami elektronowymi, od szeregu lat mają konkurencję w postaci diod półprzewodnikowych. Zasada działania diod półprzewodnikowych, zwanych również diodami krystalicznymi, różni się zdecydowanie od pracy poprzednio wymienionych lamp. We współczesnej elektronice diody półprzewodnikowe znajdują różnorodne zastosowania, a ich liczne zalety pozwalają spodziewać się jeszcze liczniejszego ich stosowania.

Aby wyjaśnić zasadę działania diod półprzewodnikowych, musimy nawiązać do kilku pojęć z fizyki ciała stałego, mówiących o własności przewodności właściwej: izolatorów, półprzewodników i przewodników (metali).

W izolatorach wskutek braku swobodnych elektronów przewodność właściwa jest bardzo mała. W półprzewodnikach znajduje się pewna liczba elektronów swobodnych, dzięki czemu możliwe jest przewodzenie prądu pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego. Przewodność właściwa tych ciał jest stosunkowo duża w porównaniu z przewodnością elektryczną izolatorów.

Inaczej jest w przypadku metali, które wyróżniają się największą przewodnością właściwą dzięki dużej ilości swobodnych elektronów, których liczba jest proporcjonalna do liczby atomów zawartych w danym metalu.

Charakterystyczna właściwość półprzewodników polega na jednoczesnym istnieniu dwóch rodzajów nośników ładunków, a mianowicie elektronów i tzw. dziur.

W tym przypadku dziurze, jak i elektronowi przypisuje się pewną funkcję falową.

Dziura jest równoważna jednostkowemu ładunkowi dodatniemu polaryzującemu obszar znajdujący się dookoła niej. Własności te pozwalają na wyrwanie przez dziurę elektronu z sąsiedniego wiązania sieci krystalicznej półprzewodnika. Opisane zjawiska mogą zachodzić przy przyłożeniu pola elektrycznego zewnętrznego i równocześnie, współdziałaniu ciepłych drgań sieci krystalicznej. W rezultacie powoduje to wędrówkę dziur od wiązania do wiązania, a pod względem działania jest to równoznaczne prądowi ładunków dodatnich.

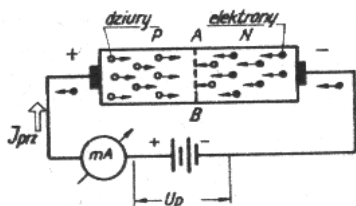
Fizycy zbadali, że dziury i elektrony mogą powstawać w półprzewodnikach zwanych samoistnymi (tzn. czystymi) oraz w półprzewodnikach niesamoistnych wskutek drgań ciepłych sieci krystalicznej półprzewodnika lub padającego na półprzewodnik promieniowania świetlnego czy rentgenowskiego.

Do półprzewodników naturalnych zalicza się w pierwszym rzędzie german i krzem. W półprzewodnikach samoistnych, chociaż ilość powstających w nich elektronów i dziur jest taka sama, to jednak ruchliwość elektronów jest większa, co sprawia, że one są przyczyną zasadniczej części prądu płynącego w strukturze półprzewodnika.

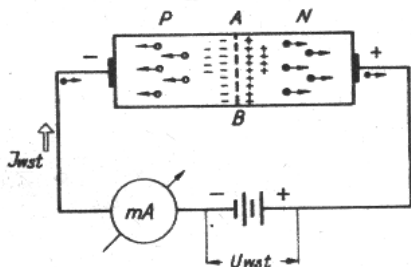
W technice główne znaczenie mają półprzewodniki niesamoistne (sztuczne) typu N i typu P. Półprzewodniki niesamoistne uzyskuje się przez wprowadzenie do struktury kryształu minimalnej ilości domieszek odpowiednich pierwiastków. Własności półprzewodnika typu N (N — negatywny) mają te półprzewodniki samoistne, do których wprowadzono domieszki arsenu lub antymonu, ponieważ jedynie w tym wypadku może zachodzić przewodzenie za pośrednictwem ładunków ujemnych (elektronów).



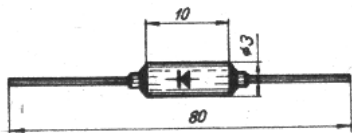
Rys. 1



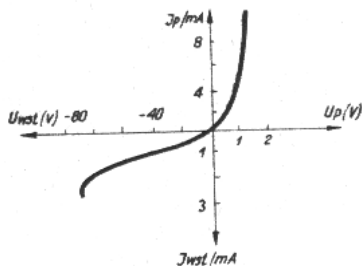
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5

Odmienne natomiast własności uzyskuje półprzewodnik (krzem lub german) po wprowadzeniu do niego domieszek boru, indu czy aluminium. Uzyskuje on dodatkowe ładunki dodatnie, a dzięki temu nosi nazwę półprzewodnika typu P (P — pozytywny).

Jeżeli połączymy ze sobą kryształy o różnych typach przewodnictwa, to otrzymamy tzw. złącze P-N, zwane złączem elektronowo-dziurowym.

Przez pojęcie złącza P-N rozumiemy pewien obszar rozciągający się po obu stronach granicy styku półprzewodnika typu P i typu N, chociaż praktycznie grubość tego obszaru jest bardzo mała.

Przyrząd złożony z dwóch kryształów mających własności złącza elektronowo-dziurowego nazywamy diodą półprzewodnikową (kryształiczną).

Schemat diody półprzewodnikowej przedstawiony został na rys. 1.

Dioda półprzewodnikowa wykazuje własności jednokierunkowej przewodności prądu elektrycznego, czyli zachowuje się jak tzw. opornik nieliniowy.

Dzięki tym własnościom dioda nadaje się do prostowania prądu zmiennego (przemiennego).

W działaniu diody półprzewodnikowej możemy wyróżnić kilka charakterystycznych cech, podobnie jak podczas omawiania działania diody próżniowej wyróżniliśmy jej parametry (napięcie żarzenia, prąd anodowy, zależność prądu anodowego od napięcia itp). Rozpatrzmy dwa zasadnicze stany pracy diody półprzewodnikowej. Przyjmijmy najpierw, że dioda jest załączona do źródła prądu w następujący sposób: do półprzewodnika typu P dołączony jest biegun dodatni, zaś do półprzewodnika typu N — ujemny biegun źródła prądu. W przedstawionym na rys. 2 układzie dioda znalazła się pod napięciem przewodzenia (U_p). Pod działaniem tego napięcia elektrony w półprzewodniku typu N podążają do granicy złącza (A-B), a następnie przenikają w obszar półprzewodnika typu P, w którym w przeciwnym kierunku poruszają się dziury. Dziury z kolei przenikają w obszar przewod-

nika typu N. W przewodach łączących diodę ze źródłem napięcia, poruszają się tylko elektrony.

Zjawisko to można wyjaśnić następująco: elektrony podążają w kierunku od ujemnego bieguna źródła prądu do półprzewodnika typu N i kompensują tam ubytek elektronów, które rekombinują z napływającymi tam dziurami. Na terenie półprzewodnika typu P elektrony podążają w kierunku dodatniego bieguna źródła prądu, wskutek czego w tym półprzewodniku powstają wciąż nowe dziury.

Opisany proces ma charakter ciągły, dzięki czemu w obwodzie przepływa prąd zwany prądem przewodzenia (I_p).

Opór złącza P-N dla prądu przewodzenia jest zasadniczo bardzo mały (zależnie od typu diody), co oznacza, iż prąd przewodzenia może płynąć przy stosunkowo niewielkim napięciu przyłożonym do półprzewodnika.

Rozpatrzmy z kolei przypadek, podobnie jak i diodę próżniową, gdy do diody półprzewodnikowej doprowadzimy napięcie o przeciwnej biegunowości (rys. 3). W tej sytuacji elektrony w półprzewodniku typu N poruszają się (chwilowo) w kierunku dodatniego bieguna źródła prądu oddalając się od granicy złącza A-B. W półprzewodniku typu P podobnie poruszają się dziury oddalając się od złącza, gdzie rekombinują z elektronami przybywającymi od ujemnego bieguna źródła prądu.

Ruch elektronów i dziur w przeciwnych kierunkach trwa bardzo krótko, a prąd chwilowy przypomina ładowanie się kondensatora.

Opór złącza P-N w tym stanie będzie bardzo duży. Często nawet używa się określenia, że na granicy dwóch półprzewodników powstaje warstwa zaporowa. Jednak pomimo jej istnienia w każdym półprzewodniku dzięki zjawiskom cieplnym powstają niezwiązane elektrony i dziury wywołując nieznaczny prąd wsteczny (I_{wst}), który jest wielokrotnie mniejszy od prądu przewodzenia (I_p). Przy przekroczeniu pewnej granicy napięcia wstecznego następuje uszkodzenie

warstwy zaporowej złącza, a wówczas mówimy o przebiciu diody.

Wszystkie produkowane przez przemysł diody półprzewodnikowe pod względem konstrukcyjnym dzielą się na dwie grupy:

- a) diody ostrzowe,
- b) diody warstwowe.

W diodach pierwszego typu wykorzystuje się styk ostrza metalowego z półprzewodnikiem, zaś w diodach warstwowych zasadniczą rolę odgrywa złącze elektronowo-dziurowe (P-N).

Zajmijmy się krótkim scharakteryzowaniem diod ostrzowych, które mają zastosowanie do detekcji sygnałów impulsowych, bądź w zakresie wielkich częstotliwości. Diody warstwowe stosuje się jako prostowniki w różnych przyrządach pomiarowych lub w zasilaczach sieciowych do prostowania prądu zmiennego o częstotliwości przemysłowej. Na rys. 4 pokazano wygląd zewnętrzny ostrzowej diody germanowej.

Diody półprzewodnikowe są bardziej czułe od diod krzemowych, a napięcie wsteczne wynosi w nich kilkadziesiąt woltów (w diodach krzemowych nie przekracza kilku woltów).

Na rys. 5 pokazano przykładową charakterystykę napięciowo-prądową ($I_p = f(U)$) dla diody germanowej, która wskazuje podstawowe parametry diody: prąd przewodzenia — I_p (w mA), napięcie przewodzenia — U_p (w V), prąd wsteczny — I_{wst} (w mA), napięcie wsteczne — U_{wst} (w V).

Diody półprzewodnikowe warstwowe są produkowane jako germanowe i krzemowe. W ostatnich latach opracowano diody mocy produkcji krajowej typu DMG, nadające się do prostowania prądów o natężeniu kilku amperów. Na podstawie danych zamieszczonych w literaturze fachowej zagranicznej wiemy, że produkowane są już diody służące do prostowania prądów o natężeniu dziesiątków, a nawet setek i tysięcy amperów, przy czym napięcie przebicia takich diod wynosi kilkaset woltów. Możemy więc śmiało stwierdzić, że diody germanowe z powodzeniem konkurują z prostownikami lampowymi (próżniowymi bądź jonowymi).