

DIODY SMK WYKŁAD 7

W. Marciniak, „Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone”, WNT, W-wa 1987

DIODY IMPULSOWE

- diody przeznaczone do zastosowań w układach impulsowych, w których najczęściej spełniają one funkcję kluczy przepuszczających impulsy tylko w jednym kierunku. Bardzo mała rezystancja w kierunku przewodzenia, bardzo duża w kierunku zaporowym, bezzwłoczna reakcja na impulsy.

Parametry charakterystyczne:

statyczne:

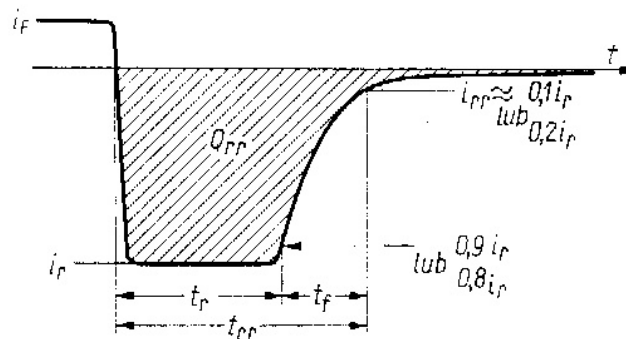
- napięcie przewodzenia U_F przy określonym prądzie przewodzenia I_F ,
- prąd wsteczny I_R przy określonym napięciu wstecznym U_R

dynamiczne:

- czas przełączania t_{tr} (ładunek przełączania Q_{tr}) przy określonych warunkach wysterowania i obciążenia diody,
- pojemność diody przy określonej częstotliwości i napięciu polaryzacji wstecznej,

Dopuszczalne parametry graniczne:

- maksymalny prąd stały (lub średni) I_{Fmax} w kierunku przewodzenia,
- maksymalny szczytowy prąd przewodzenia I_{FMmax} ,
- maksymalne stałe napięcie wsteczne U_{Rmax} ,
- maksymalne szczytowe napięcie wsteczne U_{RMmax} ,
- dopuszczalna temperatura złącza T_j .



Definicje czasów charakteryzujących proces przełączania diody z kierunku przewodzenia do zaporowego

- prąd przewodzenia i_F (im większy tym większy ładunek zmagazynowany w bazie złącza p-n, dłużej trwa proces rozładowania bazy, rośnie t_{tr}),
- prąd półki $i_r \sim U_R/R_L$ w kierunku zaporowym (im większy tym szybciej usuwany jest ładunek zmagazynowany w bazie, t_{tr} maleje),
- wartość prądu i_{rr} .

Bezwłoczność działania – jak najmniejszy czas przełączania t_{tr} lub jak najmniejsza stromość impulsu prądu otrzymywanego podczas przełączania (jak najmniejszy czas opadania t_f).

Biorąc to pod uwagę, diody impulsowe dzielimy na:

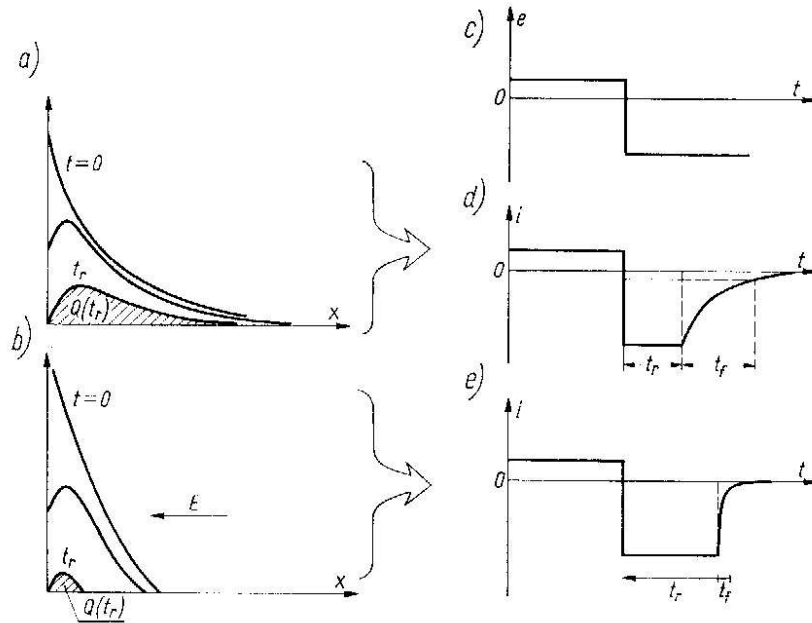
- diody o małym czasie przełączania t_{tr} , diody ostrzowe germanowe o złączu p-n formowanym elektrycznie (styk złoto-german) – małe powierzchnie, małe pojemności; np. ałącza epiplanarne domieszkowane złotem (zmniejszenie czasu życia nośników mniejszościowych – centra generacyjno-rekombinacyjne) 1ns. Krótsze czasy pp o szerokim pasmie zabronionym, np. GaAs 0.1 ns, diody Schottky'ego –

działają na nośnikach większościowych, wolne od inercji – magazynowanie ładunku w bazie

- diody o małym czasie opadania t_f (diody ładunkowe, z krzemu o dużym czasie życia nośników mniejszościowych $\tau \sim 1 \mu s$) – do formowania bardzo stromych impulsów prostokątnych ($t_f/t_r \ll 1$)

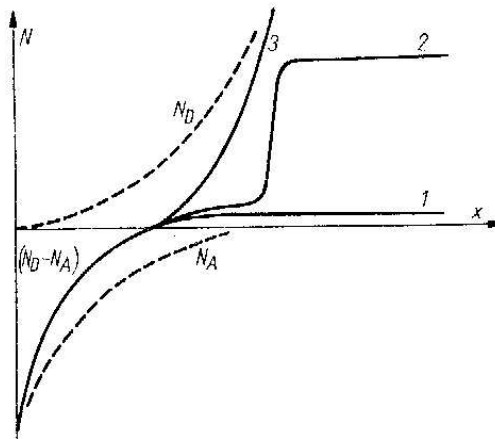
Skąd się bierze pole elektryczne w diodzie ładunkowej?

W półprzewodniku niejednorodnym istnieje wbudowane pole elektryczne, spowodowane niepełną neutralizacją ładunków nieruchomych domieszki przez ładunki ruchome elektronów lub dziur.



Porównanie rozkładu koncentracji nośników nadmiarowych i przebiegów napięć w czasie przełączania diody konwencjonalnej (a, d) oraz ładunkowej (b, e). Napięcie sterujące (c).

Przyczyna skrócenia fazy opadania prądu w diodzie ładunkowej – zmniejszenie ładunku $Q(t_r)$ jaki pozostaje w bazie w chwili zakończenia półki prądu (nie tylko dyfuzja ale i unoszenie)



Typowe rozkłady koncentracji domieszki dla trzech różnych konstrukcji diod ładunkowych: 1 – struktura planarna; 2 – struktura epiplanarna; 3 – struktura dwustronnie domieszkowana

Wspólna cecha wszystkich trzech konstrukcji: wzrastająca koncentracja domieszki donorowej w bazie (powstaje pole elektryczne, hamujące dziury wstrzykiwane do bazy). W czasie przełączania pole elektryczne spycha dziury w kierunku warstwy zaporowej i przyczynia się do wydłużenia pierwszej i skrócenia drugiej fazy przełączania.

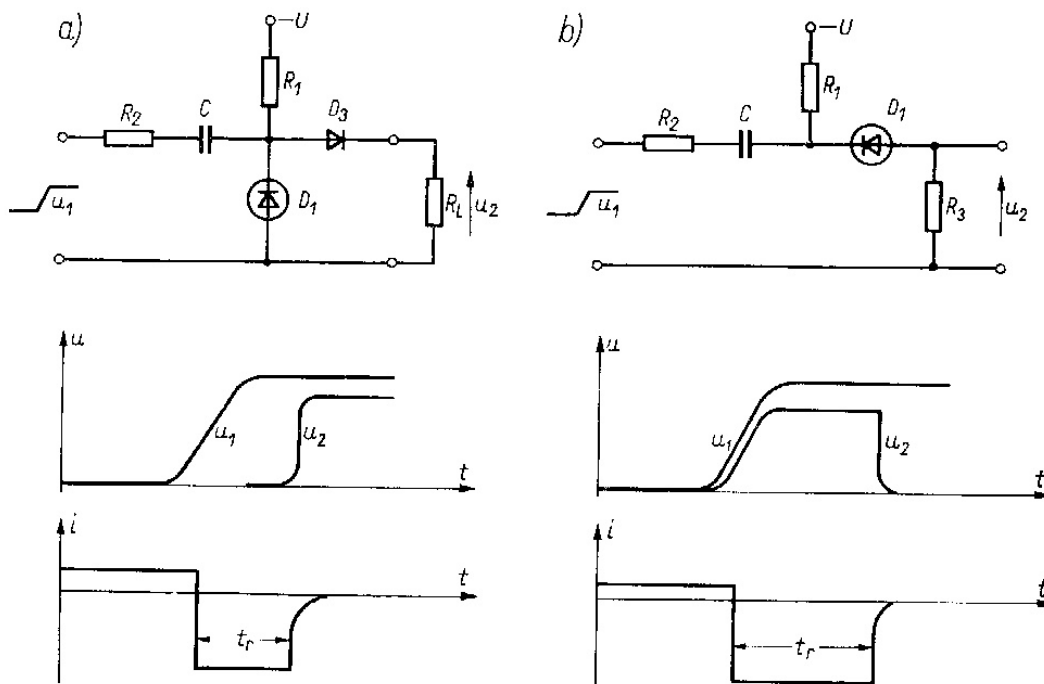
Parametry techniczne przykładowo wybranych diod impulsowych

Tablica 4.4

Typ diody	Parametry charakterystyczne										Dopuszczalne parametry graniczne					U w a g i
	statyczne					dynamiczne					$I_{F max}$	$I_{FM max}$	$U_{R max}$	$U_{RM max}$	T_J	
	U_F przy	I_F przy	I_R przy	U_R przy	t_{rr} przy	U_R przy	R_L przy	I_F przy	C_d przy	U_R przy						
	V	mA	nA	V	ns	V	Ω	mA	pF	V						
BAYP 94 BAY 61	0,8 1	20 10	5 25	25 20	2 4	6	100	10 10	4 4	0 0	200 200	450 500	25 75	35 100	200 200	Produkcji polskiej t_{rr} mierzone przy $i_r = 10 \text{ mA}$ $i_{rr} =$ $= 1 \text{ mA}$ (prod. Siemens)
MBD 702	0,6	10	250	3	0,1				1	0	—	—	—	70	—	Dioda Schottky'ego (prod. Motorola)

Przydatność schematów zastępczych do analizy układów z diodami impulsowymi jest ograniczona.

Zastosowanie: w układzie formującym zbocze impulsu prostokątnego



Zastosowanie diod do kształtowania zboczy impulsu prostokątnego: a) formowanie zbocza narastającego; b) formowanie zbocza opadającego

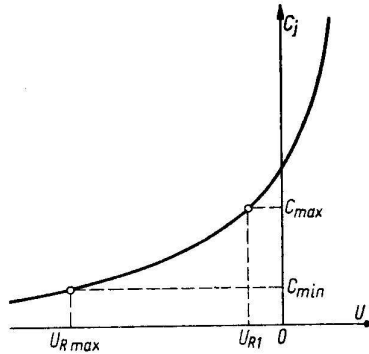
DIODY POJEMNOŚCIOWE

- diody w których wykorzystuje się zjawisko zmian pojemności warstwy zaporowej złącza p-n pod wpływem polaryzacji w kierunku wstecznym: warikapki (zmienne pojemności – układy automatycznego przestrajania obwodów rezonansowych) i

waraktory (zmiennie reaktancje – wzmacniacze parametryczne lub parametryczne powielacze częstotliwości).

Parametry charakterystyczne warikapów:

- pojemność złącza C_j przy określonej częstotliwości i napięciu polaryzacji wstecznej,
- stosunek pojemności C_j przy dwóch różnych wartościach napięcia polaryzacji wstecznej,
- rezystancja szeregową R_s lub dobroć Q przy określonej częstotliwości i napięciu polaryzacji wstecznej.



Charakterystyka pojemnościowo-napięciowa warikapu z punktami charakterystycznymi

Parametry dopuszczalne graniczne:

- maksymalne napięcie stałej polaryzacji wstecznej U_{Rmax} ,
- maksymalne szczytowe napięcie wsteczne U_{RMmax} ,
- maksymalny stały prąd przewodzenia I_{Fmax} ,
- dopuszczalna temperatura złącza T_j .

Parametry charakterystyczne waraktorów:

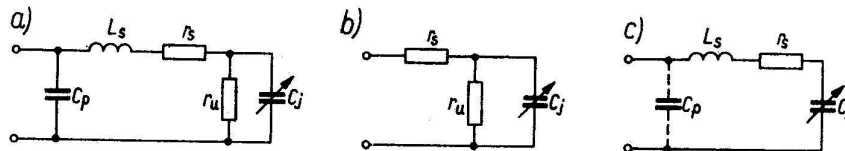
Parametry charakterystyczne:

- pojemność złącza C_j przy określonej częstotliwości i napięciu polaryzacji wstecznej,
- stosunek pojemności C_j dla dwóch różnych wartości napięcia polaryzacji wstecznej,
- prąd wsteczny I_R przy określonym napięciu wstecznym U_R ,
- częstotliwość maksymalna przy U_R ,
- indukcyjność szeregową wyprowadzeń, L_s , pojemność pasożytnicza oprawki C_p .

Parametry dopuszczalne graniczne:

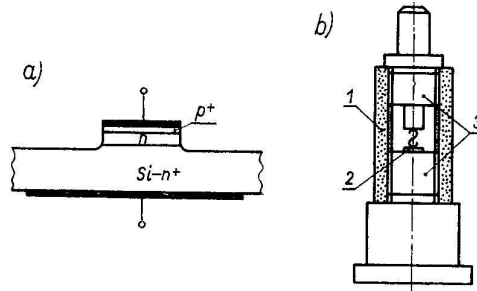
- maksymalne napięcie stałej polaryzacji wstecznej U_{Rmax}
- maksymalna moc rozpraszana P_{max}
- dopuszczalna temperatura złącza T_j .

Schematy zastępcze diód pojemnościowych:



Schemat zastępczy diody pojemnościowej (a), warikapu (b) i waraktora (c)

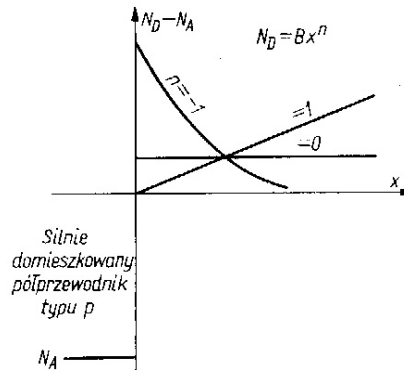
Dobroć – stosunek energii zgmagazynowanej w pojemności do energii rozpraszanej w rezystancjach: $Q = \omega C_j r_u (r_s / r_u + 1 + \omega^2 C_j^2 r_u r_s)^{-1}$; graniczne częstotliwości pracy diody pojemnościowej: $f_{min} = (2\pi C_j r_u)^{-1}$, $f_{max} = (2\pi C_j r_s)^{-1}$. W celu uzyskania dużej częstotliwości maksymalnej trzeba zmniejszać rezystancje szeregową złącza, tzn. stosować pp silnie domieszkowany (waraktor).



Struktura i szkic konstrukcji waraktora: 1 – izolator ceramiczny, 2 – płytka Si ze złączem p-n, 3 - elektrody

Zależność pojemności złącza w funkcji napięcia opisuje równanie: $C_j = C_{j0} \left(\frac{U + \phi_B}{\phi_B} \right)^{-m}$

gdzie $m=0.5$ dla złącza skokowego, lub $m= 1/3$ dla złącza liniowego; ϕ_B – napięcie dyfuzyjne, ok. 0.7 V dla złącza krzemowego.



Rozkład koncentracji domieszek w złączu p⁺-n, w którym $N_D=Bx^n$.

Parametry techniczne kilku przykładowo wybranych warikapów

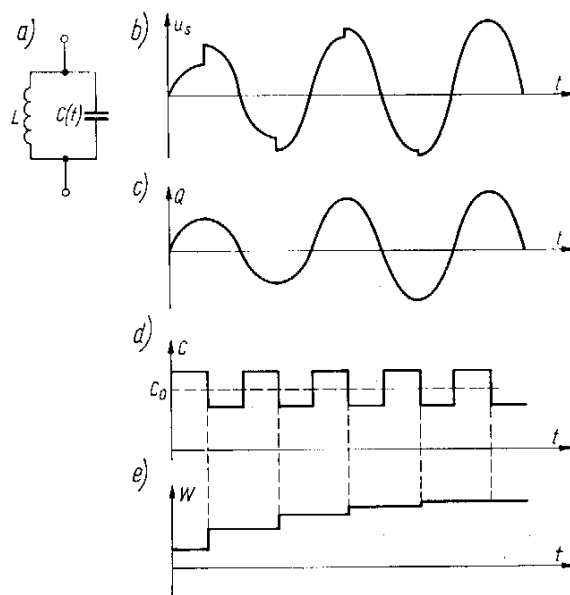
Tablica 4.5

Typ diody	Parametry charakterystyczne										Dopuszczalne parametry graniczne				U w a g i	
	C_j	przy		$C_j(U_{R2})$		przy		B_s	Q	przy		U_{Rmax}	U_{RMmax}	I_{Fmax}		T_j
		f	U_R	$C_j(U_{R1})$	U_{R1}	U_{R2}	f			$U_R(C)$						
		pF	MHz	V	V	V	MHz			V(pF)						
BB 105 GD	1,8–2,8	1	25	4,5–6	3	25	1,2	—	470	(9)	28	30	—	100		
BBF 624	29–66	30	2	1,4	2	10	—	160	30	2	30	30	60	150		
BB 110 B	29–33	1	3	2,65	3	30	0,3	—	100	(30)	30	—	100	100		

Parametry techniczne kilku przykładowo wybranych waraktorów

Typ diody	Parametry charakterystyczne										Dopuszczalne parametry graniczne				U w a g i		
	C_j	przy		przy		przy		przy		przy		C_p	F_{max}	U_{Rmax}		$T_j(T_s)$	
		U_R	$\frac{C_{j1}}{C_{j2}}$	$\frac{U_{R1}}{U_{R2}}$	I_R	U_R	f	U_R	R_s	U_R	L_s						f
		pF	V	V/V	μA	V	GHz	V	Ω	V	nH						GHz
BXYP	10–20	6	2	0/6	10	90	—	—	1	6	3	0,8	0,4	3	90	(60)	
BXYP 51	0,5–0,8	6	2	0/6	10	12	120	6	—	—	1	3	0,3	0,5	12	(70)	

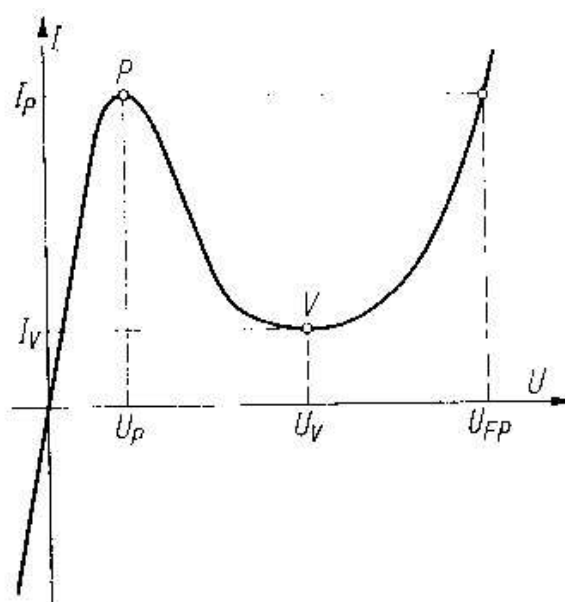
Zastosowanie diód pojemnościowych: układy automatycznie strojonych obwodów rezonansowych, wzmacniacze i generatory parametryczne, powielacze częstotliwości, przełączniki sygnałów mikrofalowych.



Ilustracja zasady działania wzmacniacza parametrycznego: (a) układ; (b) przebieg sygnału wzmacnianego; (c) przebieg ładunku w kondensatorze; (d) zmiany pojemności w funkcji czasu; (e) zmiany energii w funkcji czasu

DIODY TUNELOWE

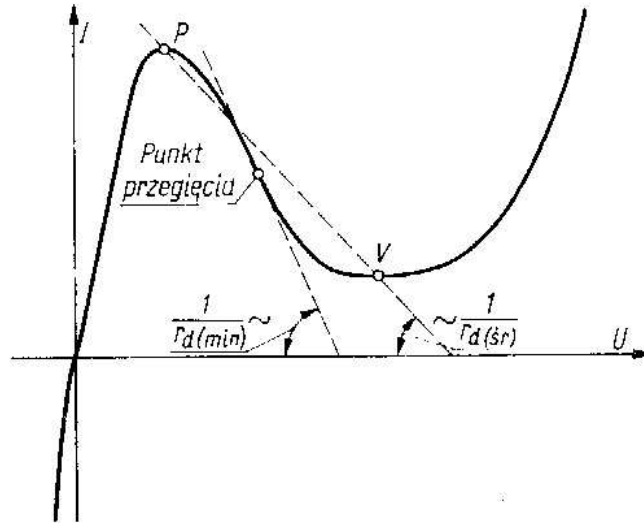
- silnie domieszkowane złącza p^+n^+ , które charakteryzują się tym, że ich charakterystyka prądowo – napięciowa ma w kierunku przewodzenia odcinek o ujemnej rezystancji dynamicznej (diody impulsowe, mikrofalowe, stosowane w układach przełączających, wzmacniaczach i generatorach mikrofalowych).



Charakterystyka $I(U)$ diody tunelowej

Parametry charakterystyczne:

- współrzędne wierzchołka (I_P , U_P) oraz doliny (I_V , U_V) charakterystyki $I(U)$,
- ujemna rezystancja dynamiczna r_d , $r_{dmin} \sim -2U_P/I_P$, $r_{dsr} = (U_V - U_P)/(I_V - I_P)$,
- pojemność warstwy zaporowej C_j ,
- rezystancja szeregową r_s ,
- graniczna częstotliwość od tłumiania $f_i = \text{sqr}(r_d/r_s - 1)(2\pi C_j r_d)^{-1}$,
- indukcyjność szeregową L_s , pojemność rozproszona oprawki C_p .

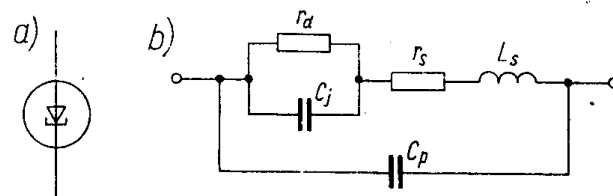


Interpretacja graficzna minimalnej i średniej ujemnej rezystancji dynamicznej

Graniczne parametry dopuszczalne:

- maksymalny prąd dopuszczalny w kierunku przewodzenia I_F i w kierunku zaporowym I_R ,
- dopuszczalna temperatura T_j .

Schemat zastępczy:



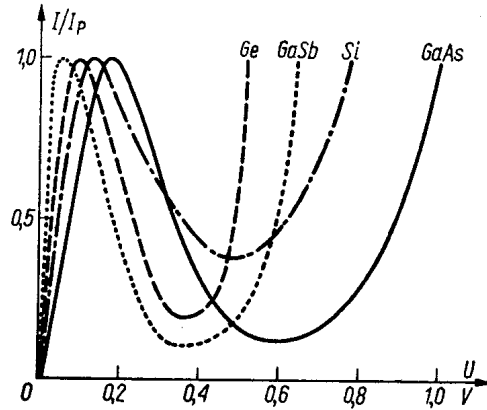
Schemat graficzny (a) i zastępczy (b) diody tunelowej dla małych sygnałów, $r_s < 5\Omega$, $L_s < 1 \text{ nH}$

Szybkość działania diody tunelowej wyznaczana jest przez stałą czasową $\tau = C_j r_d$.

Najbardziej miarodajnym wskaźnikiem jakości diody jest I_P/C_j określający szybkość przełączania diody.

Diody tunelowe wykonuje się z GaSb, Ge, Si, GaAs. Dużą szybkość działania uzyskuje się na materiałach o dużej ruchliwości nośników – InSb.

Zastosowania: w układach impulsowych i generatorach mikrofalowych.

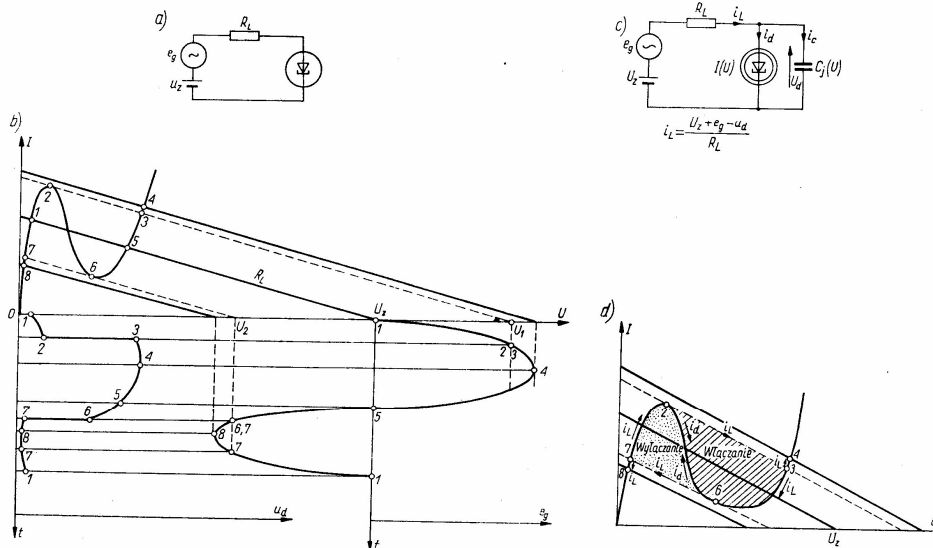


Charakterystyki I(U) dód tunelowych z różnych materiałów pp

Parametry techniczne kilku przykładowo wybranych diód tunelowych

Tablica 4.6

Typ diody	Parametry charakterystyczne									Dopuszczalne parametry graniczne		U w a g i
	I_P	I_P/I_V	U_P	U_V	U_{FP}	C_J	$-r_d$	r_s	f_{ro}	$I_F = I_R$	$T_J(T_a)$	
	mA		mV	mV	mV	pF	Ω	Ω	GHz	—	$^{\circ}\text{C}$	
AEY 30 A	1,6	6...9	75	350		0,8 (przy U_V)	90	7	—	10 mA	(100)	Ge (Siemens)
TD 439	3,7	8	78	400	580	0,13 (przy U_V)	40	7	65	—	—	Ge (General Electric). $L_s = 0,15$ nH, $C_p = 0,25$ pF
1N 2931	10	2,5	85	460		400	—	—	—	—	—	Si (Motorola)
1N 3118	10	10	160	600		20	—	—	—	—	—	GaAs (Motorola)
Wartości przeciętne		10	70	360	500	$I_P/C_J(U_V)$ [mA/pF] 0,1...3			τ [ns]		150	Ge
		3	80	450	750	0,3			2		300	Si
		12	150	550	1000	1...10			0,5...0,05		400	GaAs
		12	50	280	530	2			0,1		200	GaSb
		10			200				0,005		20	InSb



Przerzutnik z diodą tunelową. A) układ włączenia diody, c) schemat zastępczy, b,d) analiza graficzna

DIODY MIKROFALOWE (detekcyjne, mieszające, sterowane impedancje)

- diody przeznaczone do zastosowań w mikrofalowym zakresie częstotliwości $<1\text{m}$, $f > 300$ MHz – 700 GHz (430 μm): pasmo decymetrowe U.w.cz. $0.1 < \lambda < 1\text{m}$; $0.3 < f < 3$ GHz, pasmo centymetrowe S.w.cz $1 < \lambda < 10\text{cm}$, $3 < f < 30$ GHz, pasmo milimetrowe Skr.w.cz. $1 < \lambda < 10$ mm, $30 < f < 300$ GHz.

Podział diód mikrofalowych: zmienne rezystancje (warystory), zmienne reaktancje (waraktory), sterowane impedancje, ujemne rezystancje.

Warystory – elementy o nieliniowej charakterystyce prądowo-napięciowej; stosuje się trzy rodzaje diód: ostrzowe, Schottky`ego, zwrotne. Warystory stosuje się w układach detekcji oraz mieszaczach.

Sterowane impedancje – diody p-i-n stosowane w mikrofalowych przełącznikach, bezpiecznikach, modulatorach i dzielnikach.

Ujemne rezystancje uzyskuje się w diodach tunelowych oraz generacyjnych (lawinowo-przelotowych, diodach Gunna).

Parametry techniczne diód detekcyjnych i mieszających:

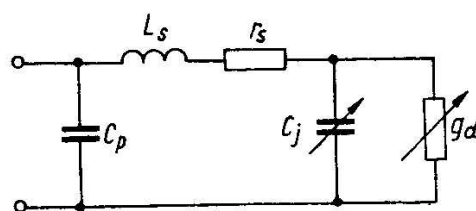
Parametry charakterystyczne:

- napięcie U_F przy prądzie przewodzenia I_F ,
- prąd I_R przy napięciu wstecznym U_R ,
- pasmo częstotliwości pracy,
- czułość tangencjalna, prądowa i napięciowa,
- impedancja wejściowa,
- wejściowy współczynnik fali stojącej,
- straty przemiany,
- współczynnik szumów

Parametry graniczne:

- moc maksymalna,
- energia przepalania,
- temperatura dopuszczalna.

Schemat zastępczy:



Schemat zastępczy diód detekcyjnych i mieszających.

1. Diody ostrzowe

Może mieć strukturę fizyczną złącza p-n albo złącza m-s z barierą Schottky`ego. Diody Ge – złącze p-n, diody Si (styk igły wolframowej z krzemem typu p), diody GaAs (styk igły fosforobrazowej z arsenkiem galu typu n). Bardzo mała pojemność złącza, duża częstotliwość pracy (2000 GHz).

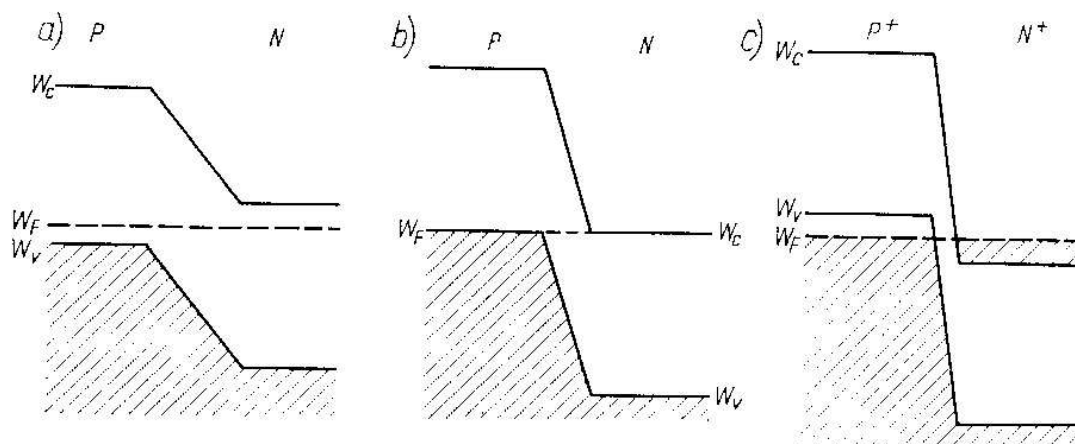
2. Diody Schottky`ego

Styk płaskiej elektrody metalowej z półprzewodnikiem – bardzo krótkie czasy przełączania. Ich mała bezwładność predysponuje je do zastosowań jako diody mieszające i detekcyjne (do

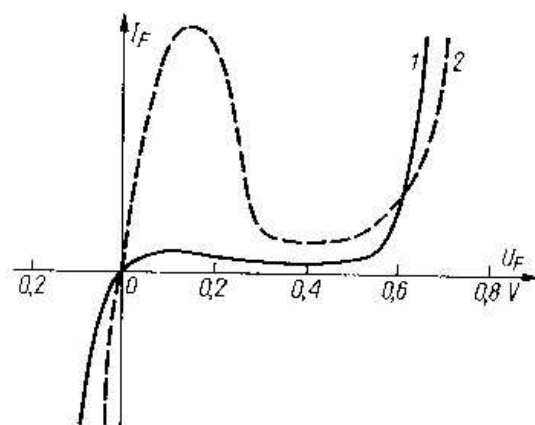
100 GHz). Najlepsze właściwości mają w zakresie wstecznym. W zakresie przewodzenia – duże napięcie progowe. Mała wartość rezystancji szeregowej, mały poziom szumów własnych, duża stabilność pracy i odporność na wstrząsy.

3. Diody zwrotne

- dioda tunelowa o znikomym małym prądzie szczytu – złącze p⁺-n⁺ nieco słabiej domieszkowane, poziom Fermiego na krawędzi pasma zabronionego. Przy polaryzacji w kierunku przewodzenia nie ma prądu Esakiego, przy polaryzacji w kierunku wstecznym raptownie wzrasta tunelowy prąd Zenera.



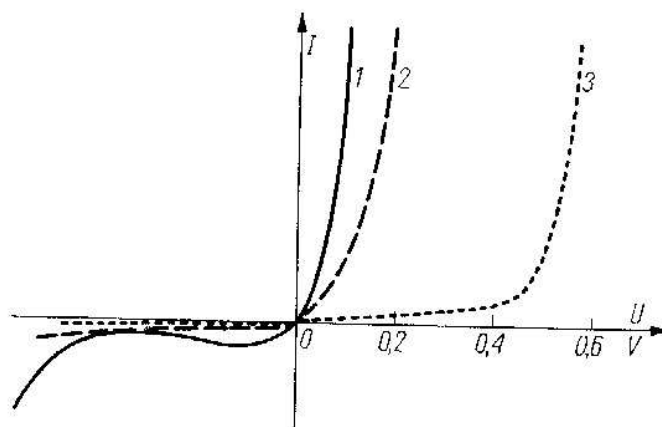
Energetyczny model pasmowy (a) złącza p-n słabo domieszkowanego; (b) diody zwrotnej; (c) diody tunelowej



Porównanie charakterystyki I(U) diody zwrotnej 1 i diody tunelowej 2

Stosuje się ją do detekcji i mieszania sygnałów przy odwróceniu roli obu kierunków polaryzacji (dioda dobrze przewodzi prąd w kierunku wstecznym, w pewnym zakresie polaryzacji w kierunku przewodzenia charakteryzuje się małym prądem). Zalety: małe napięcie progowe – duża czułość prądowa, duża szybkość działania, odporność na wpływ temperatury i promieniowania, mały poziom szumów własnych.

Wykonuje się je z Ge o maksymalnej częstotliwości pracy 200 GHz.



Porównanie typowych charakterystyk $I(U)$ dla: diody zwrotnej 1; diody ostrzowej 2; diody Schottky`ego 3.

Parametry techniczne przykładowo wybranych diod detekcyjnych i mieszających

Tablica 4.7

Typ diody	Parametry charakterystyczne										Dopuszczalne parametry graniczne			U w a g i		
	U_f	przy		I_R	przy		f	h_i	L	Z_i	$Z_{o(p. cs)}$	F	P_a		W_s	T_j
	V	I_f	μA	U_R	V	—	dBm	dB	Ω	Ω	dB	W	$10^{-7} J$		$^{\circ}C$	
AEY 29	0,3	12	100	0,3	J	-43			300						100	Wsteczna germanowa, detekcyjna Mieszająca germanowa Detekcyjna krzemowa Mieszająca krzemowa
AAY 59	0,5	2	2	0,5	Q	-52	5,5		850	1000	10	0,5	0,03	100		
BAV 46					do 18 GHz					10	10	1	0,2	150		
BAW 95 D										350	8,2	1	0,2	—		

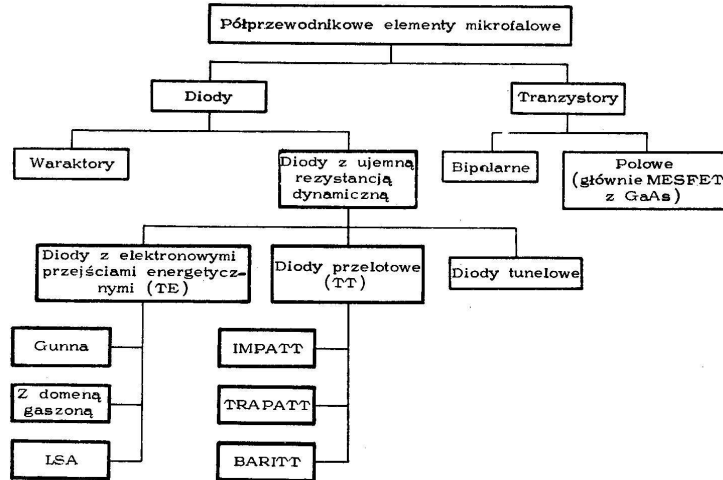
Diody o zmiennej impedancji

W kierunku wstecznym dioda p-i-n odznacza się bardzo dużą rezystancją i bardzo małą pojemnością. Podczas polaryzacji w kierunku przewodzenia do warstwy i wstrzykiwane są dziury i elektrony, warstwa ta jest zalewana, a więc dioda przechodzi w stan małej impedancji.

DIODY MIKROFALOWE Z UJEMNĄ REZYSTANCJĄ DYNAMICZNĄ

W diodach tych do bezpośredniego przetwarzania energii prądu stałego na energię prądu zmiennego wykorzystuje się ujemną rezystancję dynamiczną wywołaną:

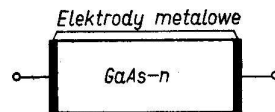
- elektronowymi przejściami energetycznymi (diody TE – kilkaset mW)
- skończonym czasem przelotu w obszarze ich unoszenia (diody TT – kilkaset mW)
- tunelowanie nośników z pasma przewodnictwa przez warstwę zaporową do pasma walencyjnego (diody tunelowe – służą do wzmacniania i generacji sygnałów mikrofalowych małej mocy ~mW)



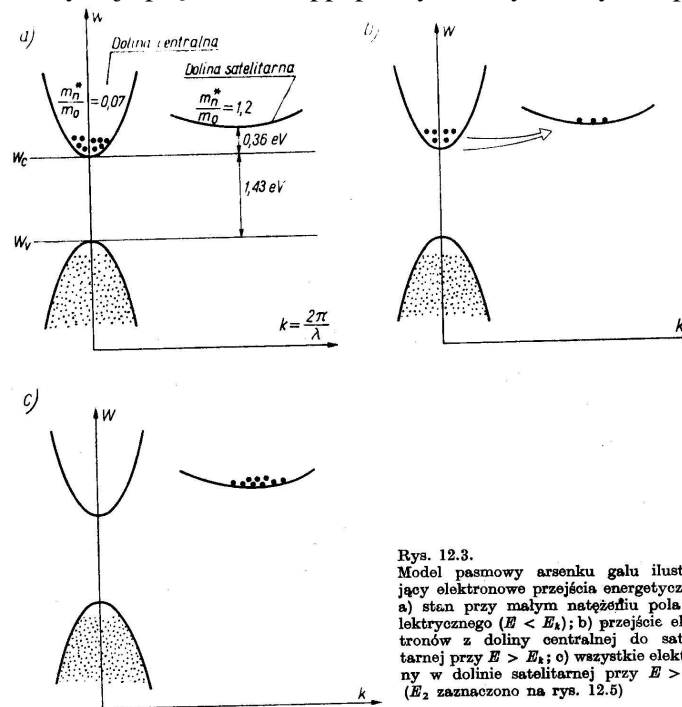
Półprzewodnikowe elementy mikrofalowe – klasyfikacja

1. DIODY TE

Zasada działania – zmniejszenie się ruchliwości elektronów (spadek konduktancji diody) w obecności silnego pola elektrycznego – oscylacje prądu – w półprzewodnikach, w których są możliwe elektronowe przejścia energetyczne przy dużym natężeniu pola elektrycznego (InP, GaAs)

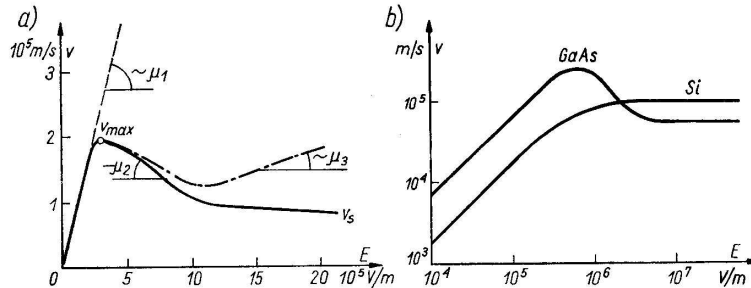


Zjawisko Gunna – oscylacje prądu w w/w pp. polaryzowanym stałym napięciem.



Rys. 12.3. Model pasmowy arsenku galu ilustrujący elektronowe przejścia energetyczne: a) stan przy małym natężeniu pola elektrycznego ($E < E_1$); b) przejście elektronów z doliny centralnej do satelitarnej przy $E > E_1$; c) wszystkie elektrony w dolinie satelitarnej przy $E > E_2$ (E_2 zaznaczono na rys. 12.5)

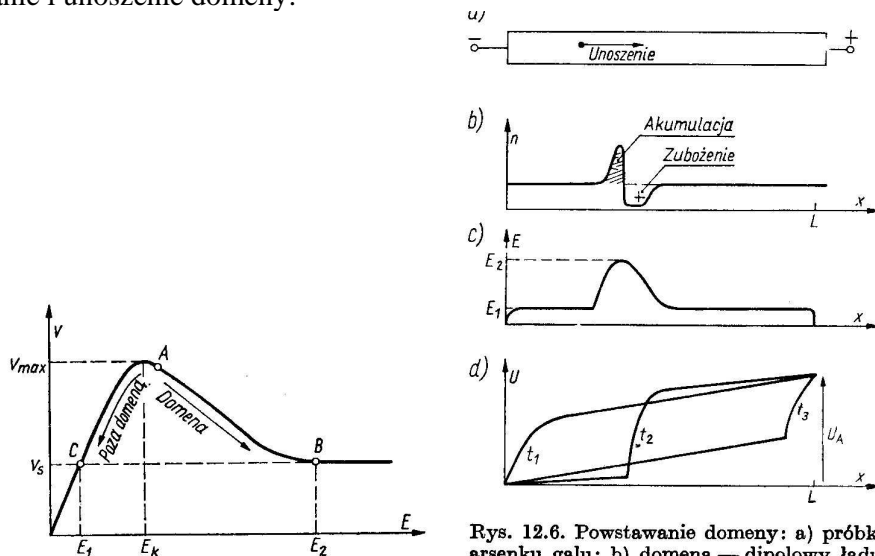
W strukturze pasmowej tych pp. Występują dolina centralna i satelitarna. Dla GaAs dno doliny satelitarnej ma energię o 0.36 eV większą od dna doliny centralnej. Elektronów w dolinie satelitarnej mają inną wartość wektora falowego niż w dolinie centralnej oraz inną wartość masy efektywnej (20-razy cięższe, znacznie mniej ruchliwe). Dla niskich wartości pola elektrycznego dolina satelitarna jest pusta, dla pewnej wartości krytycznej E_k elektrony przesiedlają się z doliny centralnej do satelitarnej.



Prędkość unoszenia elektronów w funkcji pola elektrycznego

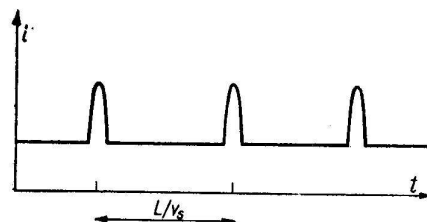
Konduktancja pp. jest wprost proporcjonalna do ruchliwości nośników, więc odcinek o ujemnej ruchliwości nośników odpowiada odcinek o ujemnej konduktancji; charakterystyka prądowo-napięciowa $I(U)$ ma przebieg identyczny jak zależność $v(E)$.

- różnica między dnem doliny centralnej a dnem doliny satelitarnej $\gg kT$
 - wytrzymałość na przebicie musi $>$ krytycznego natężenia pola elektrycznego
 - ruchliwość elektronów w dolinie satelitarnej $<$ ruchliwości w dolinie centralnej
- Powstawanie i unoszenie domeny:



Rys. 12.5. Wykres $V(E)$ ilustrujący zjawisko powstawania domeny

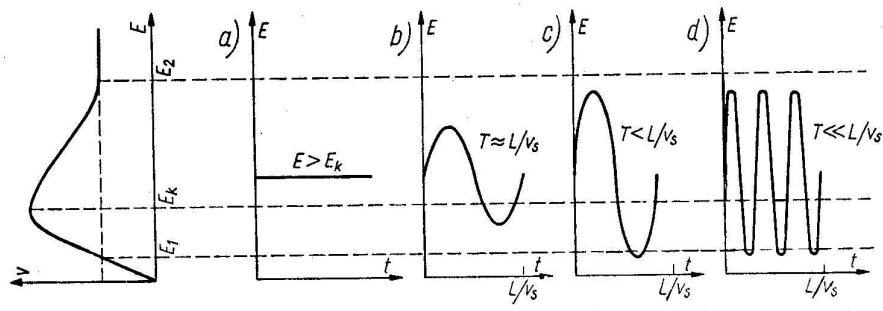
Rys. 12.6. Powstawanie domeny: a) próbka arsenku gału; b) domena — dipolowy ładunek przestrzenny; c) rozkład natężenia pola elektrycznego; d) rozkład potencjału w kolejnych chwilach czasu



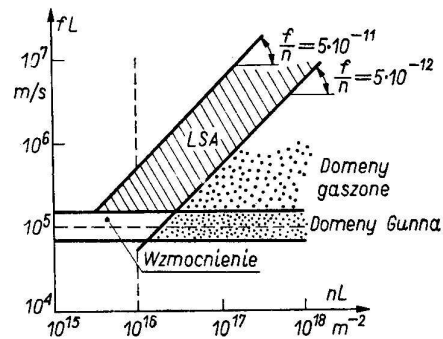
Przy natężeniu pola większym od E_k rozkład koncentracji elektronów wzdłuż próbki jest niestabilny i lokalne odchylenie od stanu neutralności powoduje powstanie obszaru dipolowego ładunku przestrzennego – domeny elektrycznej. Podczas powstawania domena jest unoszona w stronę anody. Po dojściu do anody domena znika, co zwiększa konduktancję próbki i prąd przez nią płynący. Jednak natychmiast zaczyna powstawać następna domena. Tak więc przy natężeniu pola $E > E_k$ próbka generuje okresowo impulsy prądu. Odstępy między impulsami równe są czasowi przelotu domeny od katody do anody.

Mody diod TE

- mod Gunna; polaryzacja diody TE stałym napięciem (lub w układzie z obwodem rezonansowym; stała czasowa porównywalna z czasem przelotu domeny), dla którego $E > E_k$ – mała sprawność przemiany energii prądu stałego na energię sygnału mikrofalowego
- mod domeny gazzonej – stała czasowa obwodu rezonansowego mniejsza od czasu przelotu domeny
- mod LSA – stała czasowa obwodu rezonansowego mniejsza od czasu relaksacji (powstawania domeny)



a), b) – mod Gunna, c) – mod domeny gazzonej, e) – mod LSA

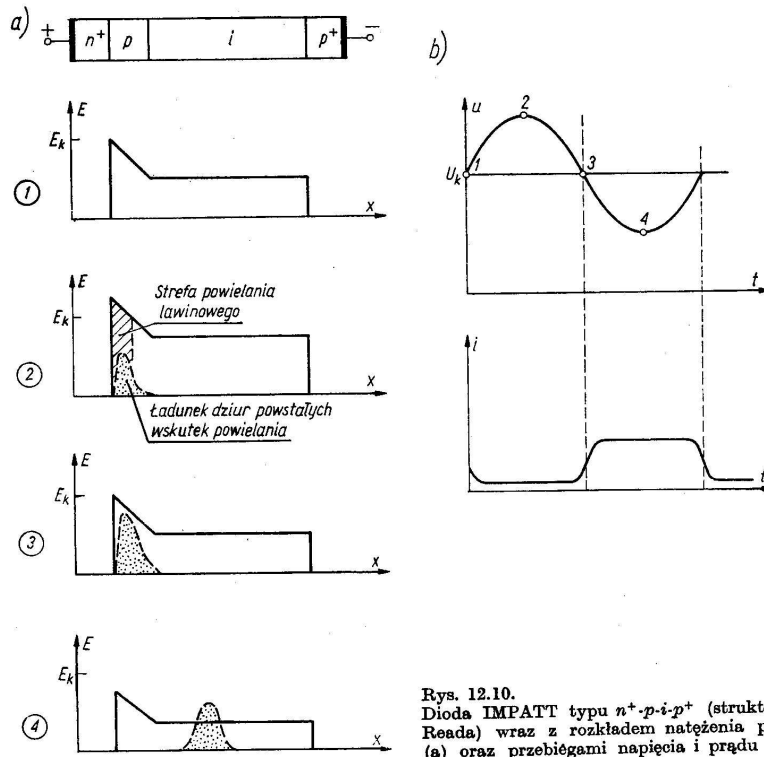


2. DIODY PRZELOTOWE

- lawinowo-przelotowe (IMPATT i TRARAPATT) – powielanie lawinowe nośników w określonym obszarze oraz ich przelot przez warstwę ładunku przestrzennego
- iniekcyjno-przelotowe (BARITT)

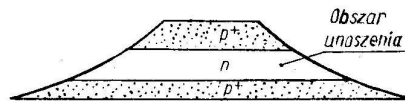
W diodach lawinowo-przelotowych ujemną konduktancję dynamiczną uzyskuje się w efekcie przesunięcia fazowego o 180° między zmiennymi sygnałami prądu i napięcia spowodowanego skończonym czasem przelotu nośników przez warstwę ładunku

przestrzennego. E_k – krytyczna wartość natężenia pola, przy której rozpoczyna się proces jonizacji zderzeniowej w warstwie typu p.



Rys. 12.10. Dioda IMPATT typu $n^+ - p - i - p^+$ (struktura Reada) wraz z rozkładem natężenia pola (a) oraz przebiegami napięcia i prądu (b)

W diodach iniekcyjno-przelotowych dwa złącza p-n rozdzielone są warstwą słabo domieszkowaną (obszar unoszenia). Źródłem nośników nie z jonizacji zderzeniowej lecz z wstrzykiwania poprzez jedno ze złączy spolaryzowanego w kierunku przewodzenia.



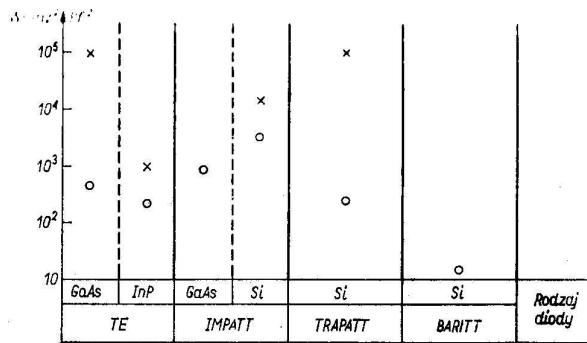
Zakresy zastosowań diod z ujemną rezystancją dynamiczną

Tablica 12.1

Rodzaj diody		Materiał	Generatory			Wzmacniacze				Redary
			lokalne	nadajniki impulsowe	nadajniki fali ciągłej	nisko-szumowe	mocy fali ciągłej	mocy impulsowe	parametryczne	
TE	Gunna	GaAs	+	+	+	+	+	+	+	+
	z domeną gaszoną	InP								
IMPATT		GaAs Si	+	+	+		+	+	+	+
TRAPATT		Si		+				+		
BARITT		Si	+		+	+				+

Parametry:

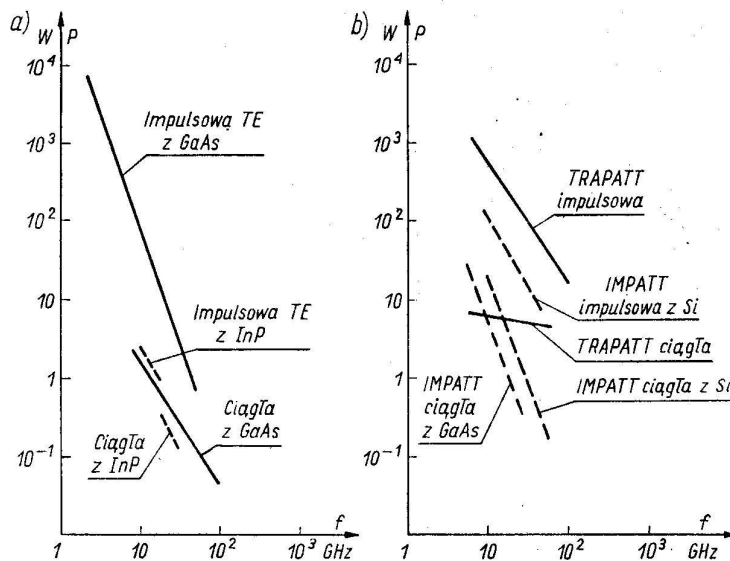
- moc i częstotliwość (Pf^2)
- sprawność przemiany energii prądu stałego w energię prądu zmiennego



Diody TE umożliwiają uzyskanie dużych mocy przy dużych częstotliwościach (100 GHz); ich sprawność wynosi kilka procent dla pracy ciągłej oraz 20-30% dla pracy impulsowej. Wzmacniacz z tymi diodami ma szerokie pasmo przenoszenia, dobrą liniowość fazy i amplitudy, niskie napięcie zasilania i małe szumy, ale ma małe moce wyjściowe i niezbyt wysoką stabilność temperaturową.

Diody IMPATT umożliwiają uzyskanie większych mocy, ale potrzebne jest większe napięcie zasilania (100 V). Sprawność 10-40%. Wzmacniacze z diodami IMPATT dają większe moce wyjściowe i lepszą stabilność temperaturową, ale małe pasmo przenoszenia, duże napięcie zasilania.

Diody BARITT służą do generacji fali ciągłej małej mocy (kilkaset mW) o częstotliwości <12 GHz i sprawności 5%. Znajdują zastosowanie w małych radarach (policyjnych). Zasilacze zbudowane z diod BARITT charakteryzują się niskim poziomem szumów.



Zależności $P(f)$ dla diod TE (a) oraz lawinowo-przelotowych (b)