JERZY KLAMKA
Zakł. Elektroniki IPPT PAN

621.315.592

KONSTRUKCJE ORAZ WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE GERMANOWYCH DIOD WARSTWOWYCH

W artykule omówiono wartości parametrów charakterystyki statycznej diody warstwowej, wartości strat mocy powstałych w wyniku jej wysterowania, sprawność oraz zagadnienie chłodzenia (opracowane na podstawie danych z literatury). Oprócz tego opisano konstrukcje diod oraz podano parametry elektryczne prototypów diod mocy opracowanych przez autora w Zakładzie Elektroniki IPPT PAN

1. WSTĘP

Rozpatrując działanie elementu prostującego należy określić jego właściwości i parametry. W idealnym przypadku oporność w kierunku przewodzenia prostownika powinna być równa zeru, natomiast oporność w kierunku wstecznym powinna być nieskończenie wielka. W praktyce jednak żaden prostownik nie spełnia tych warunków, w związku z czym na elemencie prostującym powstają straty mocy powodujące nagrzewanie się go oraz wywołujące cieplną niestabilność charakterystyki statycznej. Powstaje więc zagadnienie odprowadzenia wytworzonego ciepła z diody, a więc zagadnienie chłodzenia jej.

Diody germanowe odznaczają się dużą gęstością prądu, której wartość przekracza 100 A/cm^2 przy spadku napięcia równym 0,6 V, podczas gdy w prostownikach selenowych wynosi ona 0,025 A/cm^2, a w miedziowych 0,1 A/cm^2 przy tym samym spadku napięcia. Przeciętne wartości napięć wstecznych, osiągane w pojedynczych elementach są następujące: w selenowych ok. 40 V, w miedziowych kilka woltów, a w germanowych 200 V.

Z przytoczonych danych liczbowych wynika, że w przypadku zastosowania prostowników germanowych uzyskuje się bardzo dużą sprawność prostowania, a także bardzo małe rozmiary urządzeń zasilających.

Niniejsza praca jest dalszym ciągiem arytkułu pt. Technologia złącz *p-n*, zamieszczonego w Nr 10—11 z 1957 roku.

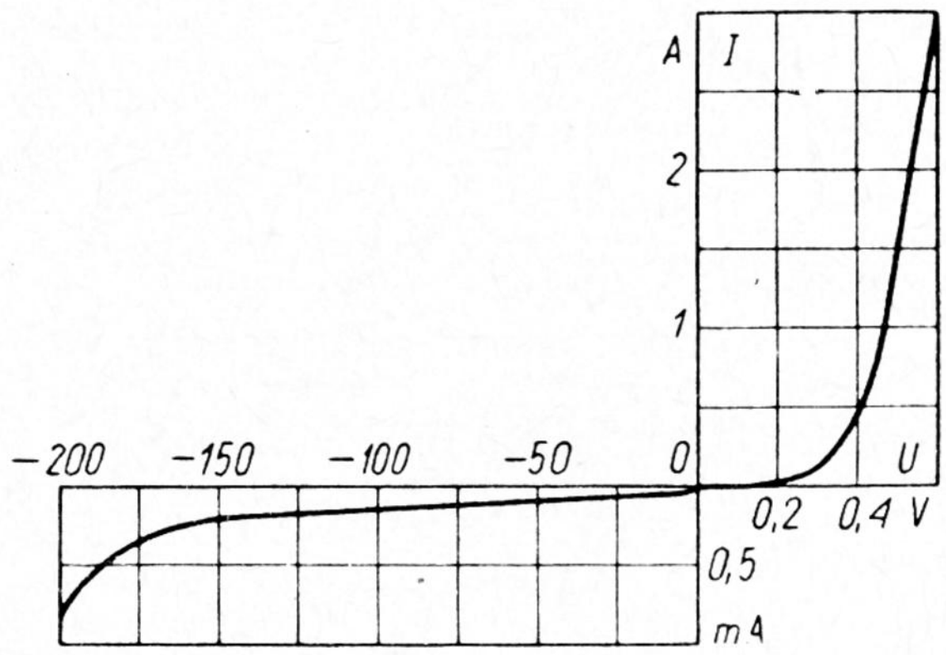
2. PARAMETRY CHARAKTERYSTYKI STATYCZNEJ DIODY WARSTWOWEJ

Na podstawie pomiarów różnych diod warstwowych wykonanych w Zakładzie Elektroniki oraz za granicą można przyjąć, że charakterystyka statyczna w kierunku przewodzenia ma przebieg taki, jak pokazano na rys. 1. Charakterystyka statyczna w kierunku wstecznym jest w dużym

L. H. — 151

zakresie prawie liniowa, a jej nachylenie w wysokim stopniu zależy od wielkości powierzchni złącza.

Część prostoliniowa charakterystyki w kierunku przewodzenia zaczyna się już przy napięciu o wartości ok. 0,45 V, a jej nachylenie w tym zakresie odpowiada oporności wewnętrznej diody. W praktyce jednak przebieg charakterystyki w kierunku przewodzenia można uważać za liniowy z tym zastrzeżeniem, że prosta nie zaczyna się w punkcie *0,0*, lecz jest przesunięta o około $U^* = 0{,}4$ V (rys. 1). Oporność właściwa przewodzenia r_p wyznaczona nachyleniem prostej (rys. 1) wynosi dla diod warstwowych około $2 \cdot 10^{-3}$ Ωcm^2. Gęstość prądu i_p, obliczana zwykle przy napięciu o wartości 0,6 V, osiąga wartość 100 A/cm^2.



Rys. 1. Charakterystyka statyczna diody germanowej z uwzględnieniem gęstości prądu

Wsteczna charakterystyka statyczna diody w zakresie prądu nasycenia jest dość płaska i w obliczeniach technicznych można ją uważać za liniową. Wartość napięcia wstecznego U_w oblicza się w punkcie, w którym występuje już znaczne zakrzywienie charakterystyki (rys. 1).

Wartość prądu wstecznego I_w odpowiada wartości napięcia wstecznego U_w i nie przekracza jednej tysięcznej części wartości prądu wyprostowanego przewidzianego dla danej diody. Zależy to od powierzchni czynnej złącza *p-n* oraz od warunków jej chłodzenia.

3. STRATY MOCY W DIODZIE WARSTWOWEJ ORAZ JEJ SPRAWNOŚĆ

Znając przebieg charakterystyki statycznej diody można stwierdzić, jakie w czasie jej wysterowania wystąpią straty mocy, wywołane zarówno prądem przewodzenia, jak i prądem wstecznym. Ze względu na dużą sprawność układu jest rzeczą konieczną, aby spełnione były następujące warunki:

dla kierunku przewodzenia

$$R_p \ll R_{obc} \tag{1}$$

dla kierunku wstecznego

$$R_w \gg R_{obc} \tag{2}$$

przy czym: $R_p = r_p/s$, gdzie r_p [Ωcm^2], s [cm^2]; R_w — oporność wsteczna diody.

Powyższe zależności wpływają bezpośrednio na wymiary powierzchni skutecznej złącza p-n diody pracującej z określonym obciążeniem R_{obc}.

Biorąc pod uwagę warunek (1) otrzymuje się, praktycznie biorąc, sinusoidalny przebieg prądu przewodzenia, $I_p = I_0 \sin \omega t$, co usprawiedliwia uproszczenie charakterystyki w kierunku przewodzenia. Prąd w obwodzie jest określony głównie przez oporność obciążenia. Jeśli dioda zostanie spolaryzowana w kierunku wstecznym, to przy spełnieniu warunku (2) cały spadek napięcia przypadnie na element prostujący.

3.1. Straty mocy w kierunku przewodzenia

W chwili gdy na diodę przypadnie połowa napięcia sinusoidalnego, polaryzująca ją w kierunku przewodzenia, wówczas spadek napięcia na diodzie według charakterystyki przyjętej w p. 2 będzie następujący:

$$U_p(t) = U^\star + i_p r_p \tag{3}$$

Dla przebiegu sinusoidalnego jest

$$U_p(t) = U^\star + r_p i_0 \sin \omega t \tag{4}$$

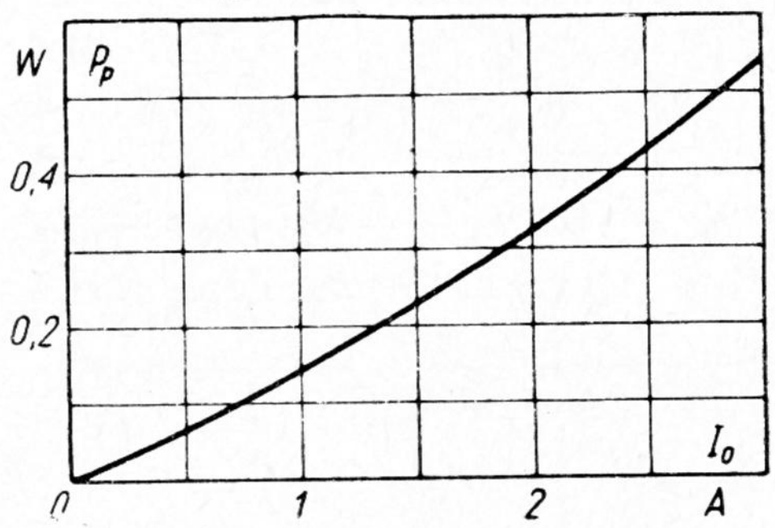
gdzie i_0 — amplituda gęstości prądu przewodzenia [A/cm^2].

Straty mocy powstałe wskutek spolaryzowania diody połową okresu w kierunku przewodzenia

$$P_p = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} S \cdot i_p(t) \cdot U_p(t)\, dt \approx \frac{S i_0}{2\pi} \int_0^{\pi} [U^\star + r_p i_0 \sin \omega t] \sin \omega t \cdot d\omega t \approx$$

$$\approx S \left[\frac{i_0 U^\star}{\pi} i_0 + \frac{r_p}{4} I_0^2 \right] \approx \frac{U^\star}{\pi} I_0 + \frac{R_p}{4} I_0^2 \tag{5}$$

gdzie: S — powierzchnia skuteczna złącza p-n; I_0 — amplituda prądu przewodzenia.



Rys. 2. Przebieg strat mocy powstałych na diodzie w czasie jej spolaryzowania w kierunku przewodzenia w zależności od prądu wyprostowanego (zależność teoretyczna)

Straty występujące na jednostkę powierzchni skutecznej złącza p-n w kierunku przewodzenia

$$P_{ps} = \frac{P_p}{S} = \frac{U^\star}{\pi} i_0 + \frac{r_p}{4} i_0^2 \approx 13 \cdot 10^{-2} I_0 + 5 \cdot 10^{-4} I_0^2 \tag{6}$$

3.2. Straty mocy w kierunku wstecznym

Jeżeli do układu prostowniczego doprowadzi się napięcie sinusoidalne $U_0 \sin \omega t$ w kierunku wstecznym, to całe napięcie przypadnie na diodę zgodnie z wyrażeniem (2). Zakładając, że oporność w kierunku wstecznym jest stała, otrzyma się prąd wsteczny również o charakterze sinusoidalnym

$$I_w = I_{w0} \sin \omega t \tag{7}$$

Straty mocy powstałe na diodzie przy spolaryzowaniu jej w kierunku wstecznym

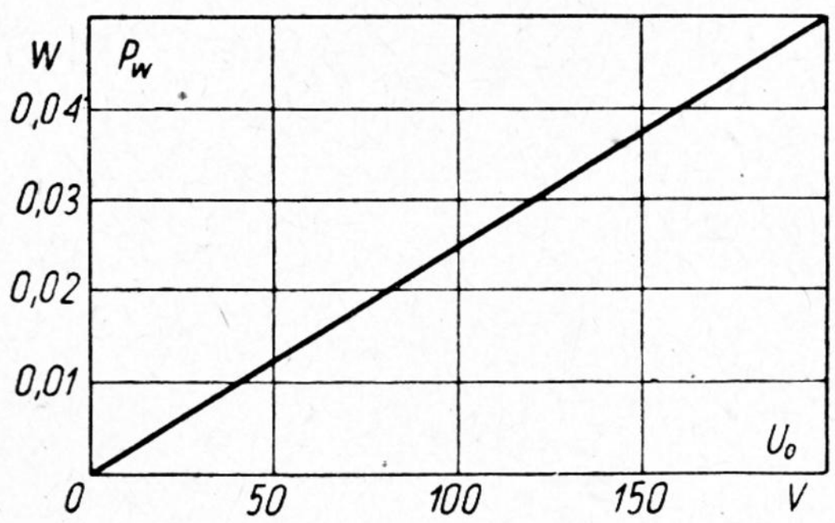
$$P_w = \frac{I_{w0} U_0}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t \cdot \mathrm{d}\,\omega t = \frac{1}{3} I_{w0} U_0 \tag{8}$$

Jeśli amplituda doprowadzonego napięcia zmiennego jest równa napięciu wstecznemu diody, tzn. $U_0 = U_w$, to

$$P_w = \frac{1}{4} I_w U_w \tag{9}$$

Moc strat na jednostkę powierzchni jest zatem

$$P_{ws} = \frac{P_w}{S} = \frac{1}{4} i_{w0} U_0 \tag{10}$$



Rys. 3. Przebieg strat mocy powstałych na diodzie w czasie jej spolaryzowania w kierunku wstecznym w zależności od amplitudy doprowadzonego napięcia (zależność teoretyczna)

Amplitudę prądu wstecznego można odczytać na podstawie charakterystyki statycznej znając amplitudę wysterowania. Jeżeli dioda jest w pełni obciążona, należy uwzględnić aktualną wartość prądu wstecznego, która zwiększa się w miarę nagrzewania się diody.

3.3. Moc całkowita

W czasie pełnego okresu zarówno na diodzie, jak i na oporniku obciążenia wydziela się moc. Moc całkowita składa się wobec tego z mocy strat występujących na diodzie w czasie spolaryzowania jej w kierunku prze-

wodzenia i w kierunku wstecznym oraz z mocy użytecznej wydzielonej na oporniku obciążenia. W praktyce nie bierze się pod uwagę mocy wydzielonej na oporniku obciążenia w czasie spolaryzowania diody zaporowo, ponieważ — zgodnie z założeniem (2) — całe napięcie w tym przypadku występuje na diodzie.

Moc całkowita za pełny okres

$$P_c = P + P_w \tag{11}$$

przy czym

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_0 U_0 \sin^2 \omega t \cdot \mathrm{d}\pi t = \frac{1}{4} I_0 U_0 \tag{12}$$

jest to moc wydzielona w całym obwodzie podczas spolaryzowania diody w kierunku przewodzenia.

W praktyce wartość mocy P odpowiada wartości mocy wyprostowanej.

3.4. Sprawność

Sprawność elementu prostującego

$$\eta = \frac{P_c - P_p - P_w}{P_c} = 1 - \frac{P_p}{P_c} - \frac{P_w}{P_c} \tag{13}$$

Moc całkowita według zależności (9), (8) i (5)

$$P_c = \frac{1}{4} I_0 U_0 + \frac{1}{4} I_{w0} U_0 = \frac{1}{4} I_0 U_0 \left(1 - \frac{I_{w0}}{I_0}\right) \tag{14}$$

Ponieważ

$$\frac{I_{w0}}{I_0} \ll 1$$

przeto wyrażenie (12) można napisać w postaci uproszczonej

$$P_c \approx P = \frac{1}{4} I_0 U_0 \tag{15}$$

Poszczególne składniki wyrażenia (13) są następujące:

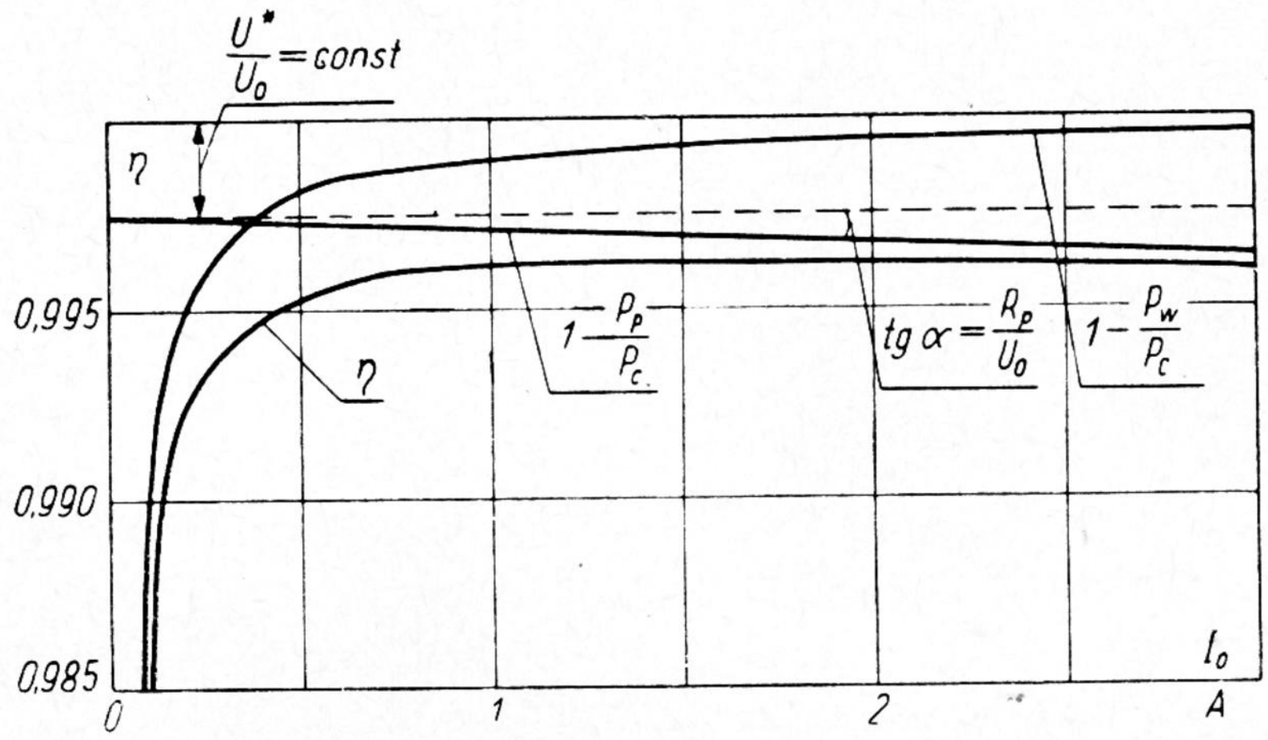
$$\frac{P_p}{P_c} = \frac{\frac{1}{\pi} S U^\star i_0 + \frac{1}{4} S r_p i_0^2}{\frac{1}{4} I_0 U_0} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U^\star}{U_0} + R_p \frac{I_0}{U_0} \tag{16}$$

$$\frac{P_w}{P_c} = \frac{\frac{1}{4} U_0 I_w}{\frac{1}{4} U_0 I_0} = \frac{I_w}{I_0} \tag{17}$$

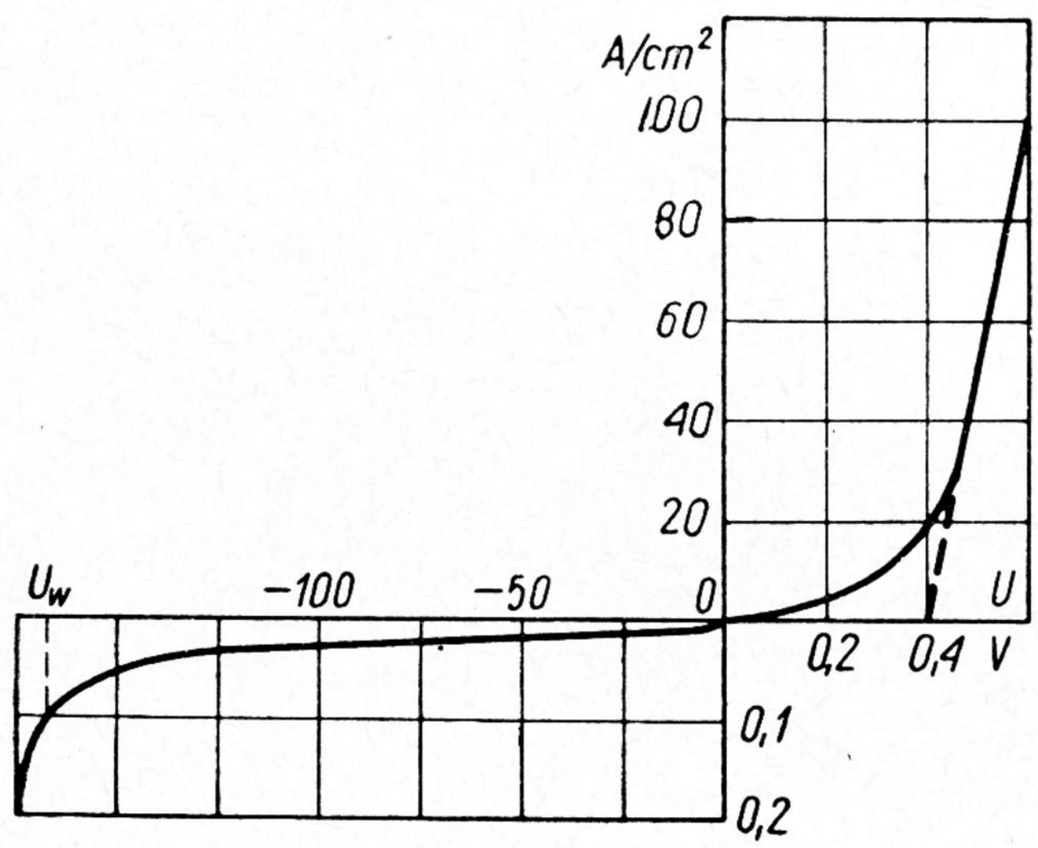
a więc sprawność

$$\eta = 1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U^\star}{U_0} - R_p \frac{I_0}{U_0} - \frac{I_w}{I_0} \tag{18}$$

Z wykresu na rys. 4 widać, że jeżeli stosunek prądu przewodzenia do prądu wstecznego przekroczy wartość 500, to krzywa sprawności będzie miała przebieg dostatecznie płaski. Zwiększając znaczenie wartości prądu



Rys. 4. Sprawność η w zależności od amplitudy przewodzenia I_0 dla diody o prądzie wyprostowanym $I_{śr} = 1$ A ($I_w = 1$ mA)



Rys. 5. Charakterystyka statyczna diody jednoamperowej (DGM20-1)

wyprostowanego otrzymuje się niewielkie zmniejszenie sprawności. Nachylenie krzywej jest tym większe, im oporność diody w kierunku przewodzenia jest większa, a więc im mniejsza jest powierzchnia skuteczna złącza *p-n*. Podwyższenie napięcia wstecznego diody (w założeniu, że jest ono całkowicie wykorzystane) powoduje zmniejszenie się nachylenia tej krzywej. Wartość tego napięcia zależy jednak od powierzchni skutecznej złącza; maleje ona w miarę zwiększania się powierzchni zła

cza. Tak więc ze względu na sprawność należy dobrać pewne optimum po wierzchni skutecznej złącza *p-n*.

3.5. Przykład obliczania parametrów diody

W celu zorientowania się o wartości różnych parametrów przytoczono przykład obliczenia diody o prądzie $I_{śr} = 1$ A, której charakterystyka jest pokazana na rys. 5, a konstrukcja na rys. 10. Pozostałe wielkości są następujące: $S = 3\ \mathrm{mm}^2$; $R_p = 0{,}07\ \Omega$; $U_0 = 200$ V; $I_0 = \pi = 3{,}14$ A.

Moc strat w kierunku przewodzenia według wzoru (5)

$$P_p = \frac{0{,}4 \cdot 3{,}14}{3{,}14} + \frac{0{,}07}{4} 3{,}14^2 = 0{,}4 + 0{,}18 \approx 0{,}6\ \mathrm{W}$$

Moc strat w kierunku wstecznym według wzoru (9)

$$P_w = \frac{1 \cdot 10^{-2} \cdot 200}{4} = 0{,}05\ \mathrm{W}$$

Suma strat mocy na diodzie wynosi 0,65 W. Straty tego rzędu wypadają również na podstawie pomiarów dokonanych za pomocą termistora. Temperatura była mierzona bezpośrednio na złączu, termistor był wyskalowany w funkcji mocy.

Sprawność diody według wzoru (18)

$$\eta = 1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{0{,}4}{200} - 0{,}07 \frac{3{,}14}{200} - \frac{10^{-3}}{3{,}14} = 0{,}996$$

Moc wyprostowana według wzoru (10)

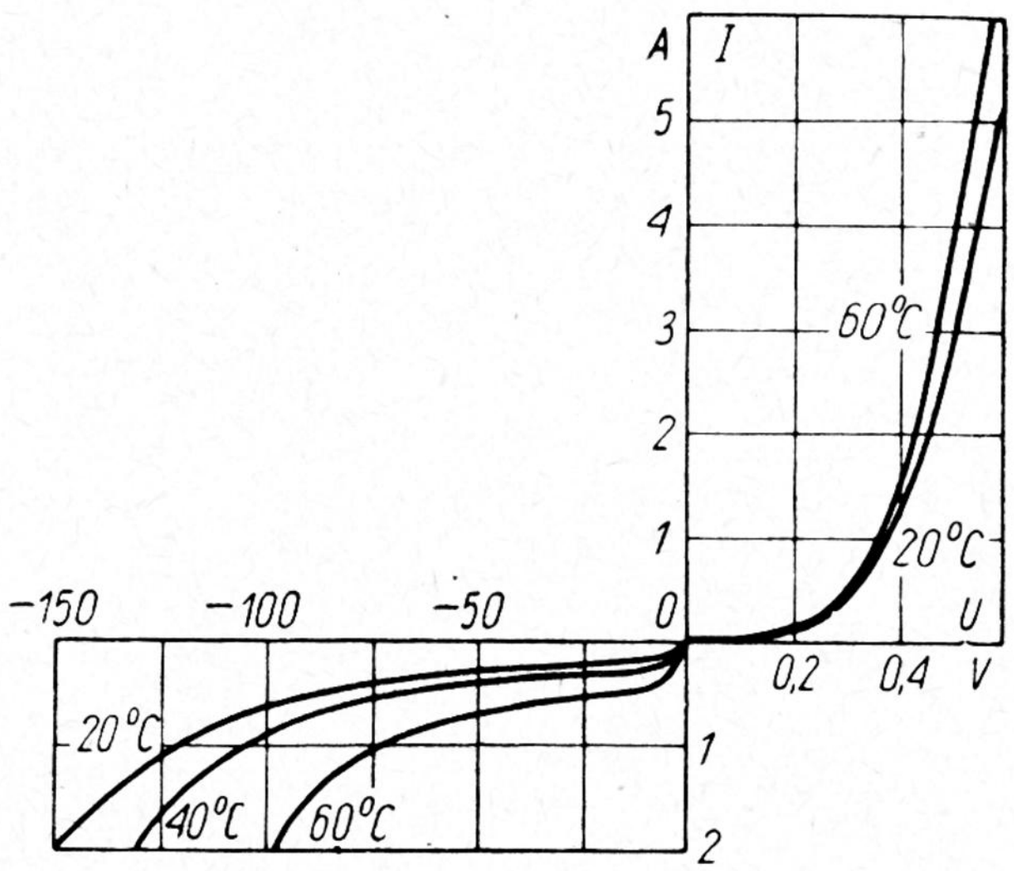
$$P = \frac{1}{4} 3{,}14 \cdot 200 = 157\ \mathrm{W}$$

Obciążenie stratami mocy powierzchni złącza wynosi $\frac{0{,}65}{3} = 0{,}2\ \mathrm{W/mm}^2$.

4. CHŁODZENIE

Chłodzenie jest poważnym problemem w dziedzinie konstrukcji elementów półprzewodnikowych. Straty mocy P_p oraz P_w powodują nagrzewanie się płytki germanu ze złączem *p-n*, co z kolei wywołuje zwiększenie się poszczególnych strat wskutek zmiany charakterystyki statycznej diody przy różnych temperaturach (rys. 6). Jak widać z wyżej wspomnianej charakterystyki, część wsteczna w większym stopniu zależy od temperatury

niż część przewodząca, w związku z czym kilkakrotnie zwiększają się straty mocy P_w, podczas gdy straty mocy P_p nieznacznie maleją. Należy więc dobrać optymalną powierzchnię skuteczną złącza p-n przy założonej wartości prądu wyprostowanego $I_{śr}$ oraz doprowadzonego napięcia U_0, tak aby wielkości poszczególnych strat po nagrzaniu się prostownika były odpowiednio proporcjonalne.



Rys. 6. Charakterystyka statyczna diody germanowej DGM15-2 dla różnych temperatur złącza p-n

W diodach mocy wymaga się, aby $P_p > P_w$. Spełnienie tego warunku jest konieczne ze względu na pewność pracy diody. Jeżeli dioda jest przeciążona, prowadzi to do niestabilności cieplnej, gdyż kilkakrotne zwiększenie się wartości strat mocy w czasie pracy stwarza nadmiar wytworzonego ciepła, które nie może być w odpowiednim czasie odprowadzone przez daną powierzchnię chłodzącą, co ostatecznie prowadzi do zniszczenia diody.

Przy założonych wartościach napięcia U_0 oraz prądu $I_{śr}$ dla danej diody straty stabilizują się w wyniku powstania równowagi między wartością mocy chłodzenia P_{ch} a wartością mocy strat P_{str}

$$P_{ch} = P_{str} = P_p + P_w \tag{19}$$

Chłodzenie zależy od rozkładu temperatur oraz od różnicy między temperaturą elementu prostującego T_p a temperaturą otoczenia T_0

$$P_{ch} = \alpha (T_p - T_0) \tag{20}$$

Najwyższą temperaturę pracy złącza p-n zakłada się dla germanu o temperaturze 65 °C. Jest ona nieco niższa od najwyższej temperatury pracy germanu wynoszącej 80 °C, w której zachodzą już pewne zjawiska fizyczne powodujące nieodwracalne zmiany charakterystyki statycznej w zależności od temperatury.

Współczynnik odprowadzania ciepła α charakteryzuje chłodnicę diody. Jego wartość zależy od materiału i powierzchni blach chłodzących, ich geometrycznego kształtu oraz czynnika chłodzącego, a więc wody, powietrza itp. Wartość współczynnika odprowadzania ciepła ustala się na podstawie wyników doświadczeń lub — w przypadkach mniej skomplikowanych — oblicza się matematycznie.

W praktyce wartość współczynnika α, a więc dobroć chłodnicy można zwiększyć przez zwiększenie średnicy blach chłodzących. Jest to możliwe

do pewnej granicy, po przekroczeniu której radiatory są prawie zupełnie niewykorzystane. Na przykład jednym z kryteriów jest warunek, aby różnica temperatur na radiatorze była mniejsza od różnicy między temperaturą blachy a temperaturą otoczenia.

W przypadku diod warstwowych, w których wartości średnic złącz *p-n* zawierają się w granicach od jednego do kilku milimetrów, wystarczy aby zadania radiatora wykonywała blacha miedziana grubości 1 mm, o średnicy od kilku do kilkunastu centymetrów. Wytworzone ciepło jest odprowadzane przez promieniowanie i przewodzenie.

Diody germanowe średniej i dużej mocy (wartość prądu wyprostowanego zawiera się w granicach od kilkudziesięciu do kilkuset amperów) wymagają bardziej intensywnego chłodzenia za pomocą na przykład wody lub powietrza.

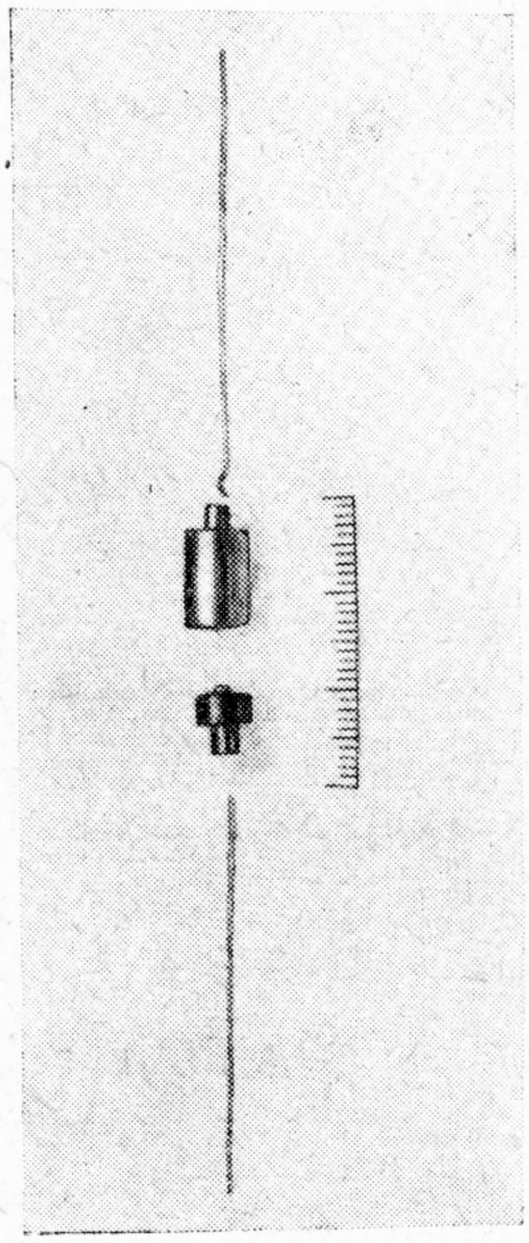
5. PROTOTYPY GERMANOWYCH DIOD WARSTWOWYCH

W zależności od przeznaczenia diody warstwowe mogą mieć różne konstrukcje. Zwykle ze względu na lepsze odprowadzenie ciepła mają one postać oprawek metalowych.

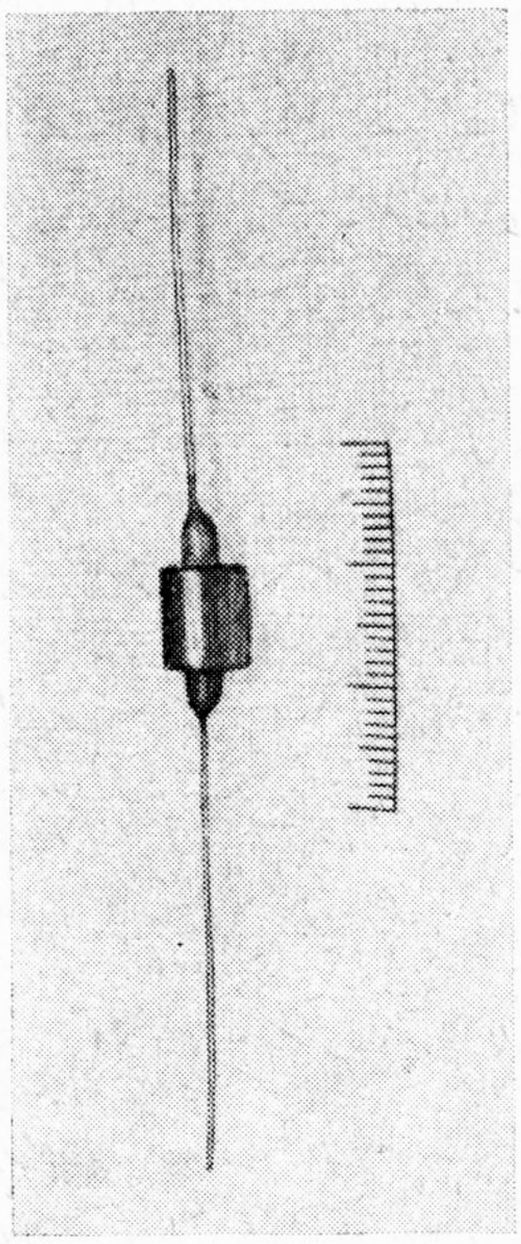
Diody małej mocy o prądzie wyprostowanym dochodzącym do 300 mA nie wymagają dodatkowych radiatorów — są one wystarczająco chłodzone przez własną obudowę. W tego rodzaju diodzie złącze *p-n* jest przylutowane w próżni do podstawki miedzianej mającej kształt tłoczka. W powietrzu przylutowuje się elektrodę do indu, a następnie nakłada się aluminiowy cylinder z izolacyjnym przepustem, przez który elektroda przechodzi do indu. Po tej operacji cylinder zagina się u dołu do wewnątrz (drekowanie) umieszczając go na uchwycie wirującym. Końcową czynnością jest przylutowanie dolnej elektrody do tłoczka oraz zalutowanie przepustu.

O wiele prostszą konstrukcję posiada dioda jednoamperowa. Złącze *p-n* jest umieszczone na śrubie miedzianej, którą po przylutowaniu górnej elektrody wykonanej z linki miedzianej wkręca się do oprawki z okrągłym radiatorem. Wystającą linkę obcina się, a następnie zalutowuje się wyjście. Rurka wystająca z przepustu izolacyjnego jest specjalnie wydłużona, aby móc do niej dołączyć się za pomocą kapturka podobnie jak w lampach pokazanych na rys. 10.

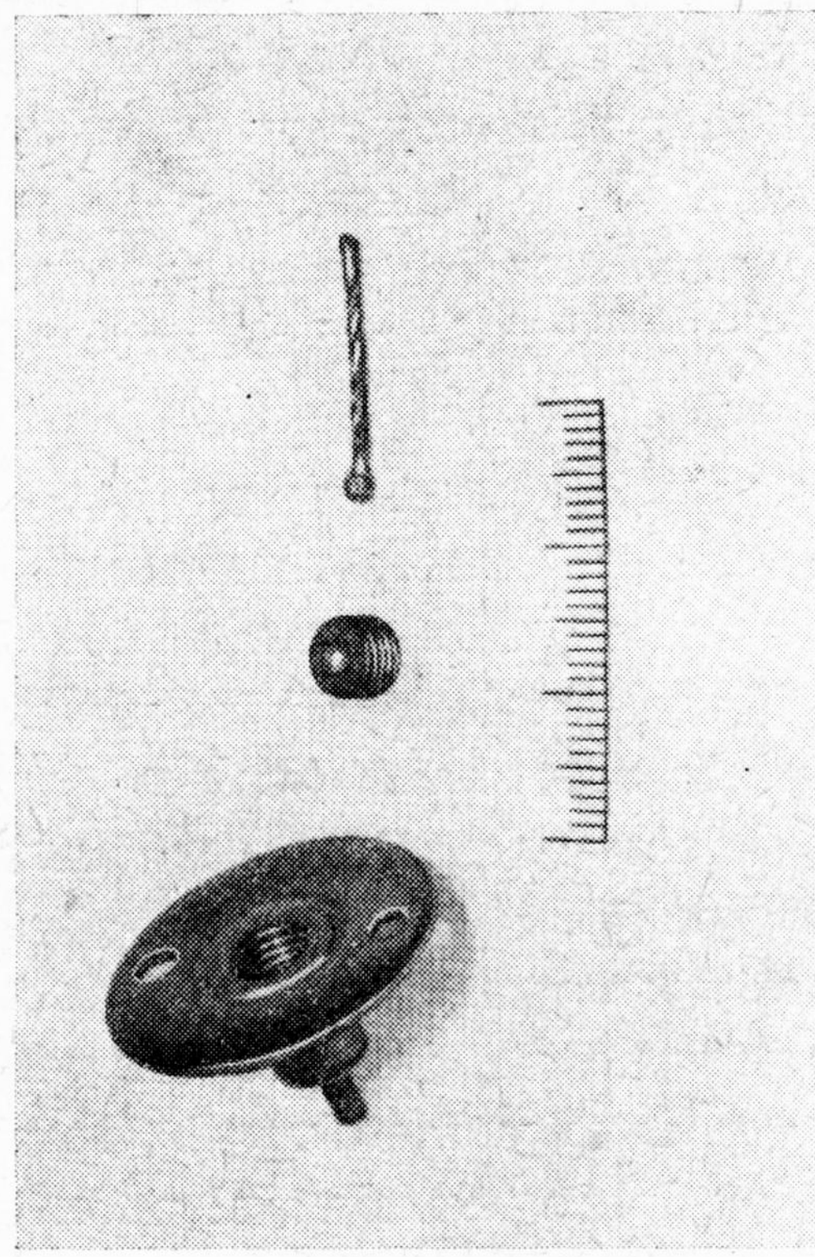
Diody warstwowe przeznaczone do prostowania prądów 2, 5 i 10 A mają konstrukcje w postaci śruby, którą wkręca się do blachy chłodzącej, na przykład do podstawy metalowej. Oprawki wykonane są z miedzi ze względu na jej dobre właściwości przewodzenia ciepła. Diody prostujące



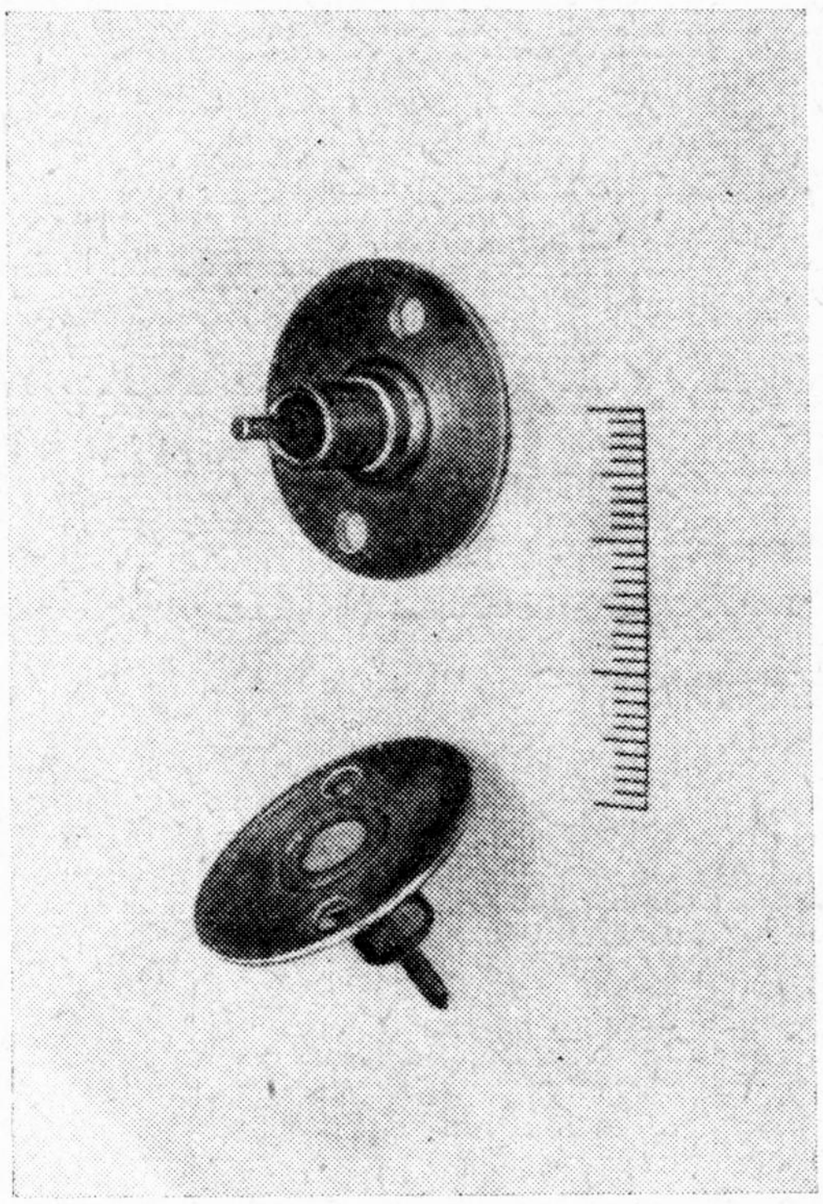
Rys. 7. Części składowe diody warstwowej o prądzie wyprostowanym 300 mA



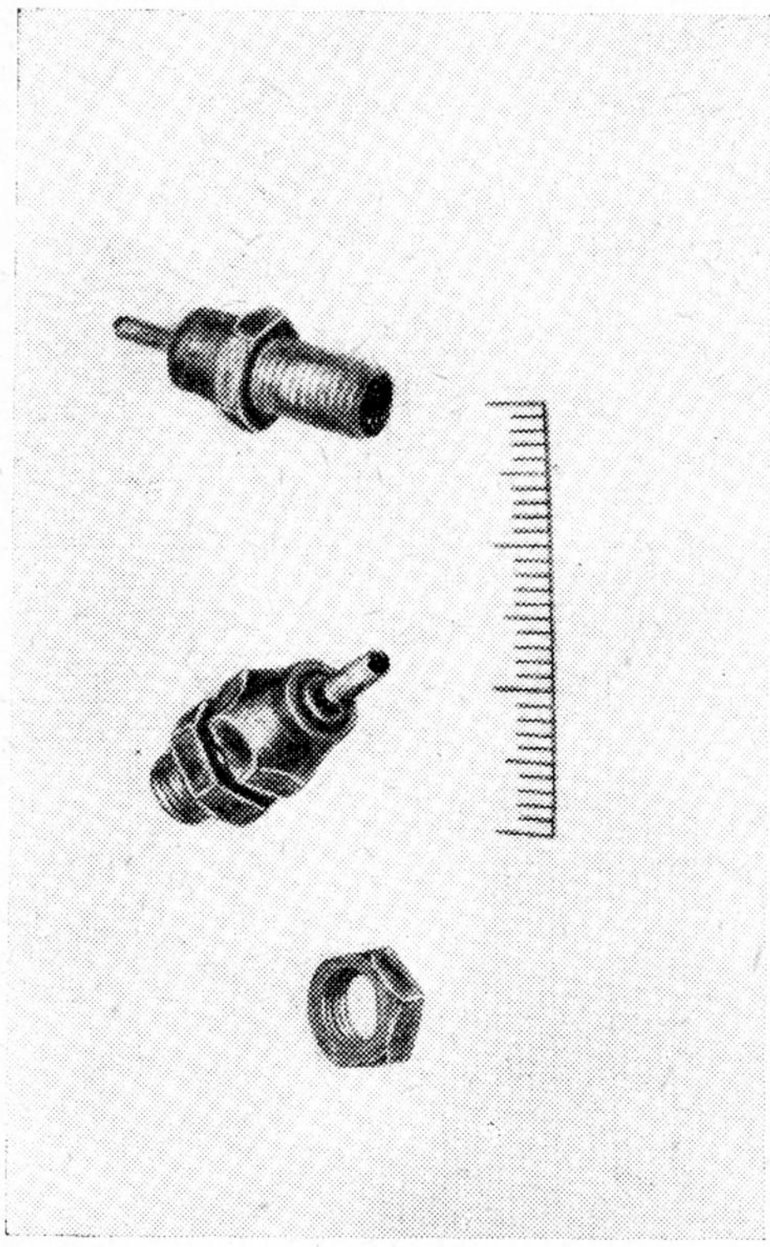
Rys. 8. Warstwowa dioda germanowa DGM30-03 o prądzie wyprostowanym 300 mA i napięciu dochodzącym do 300 V



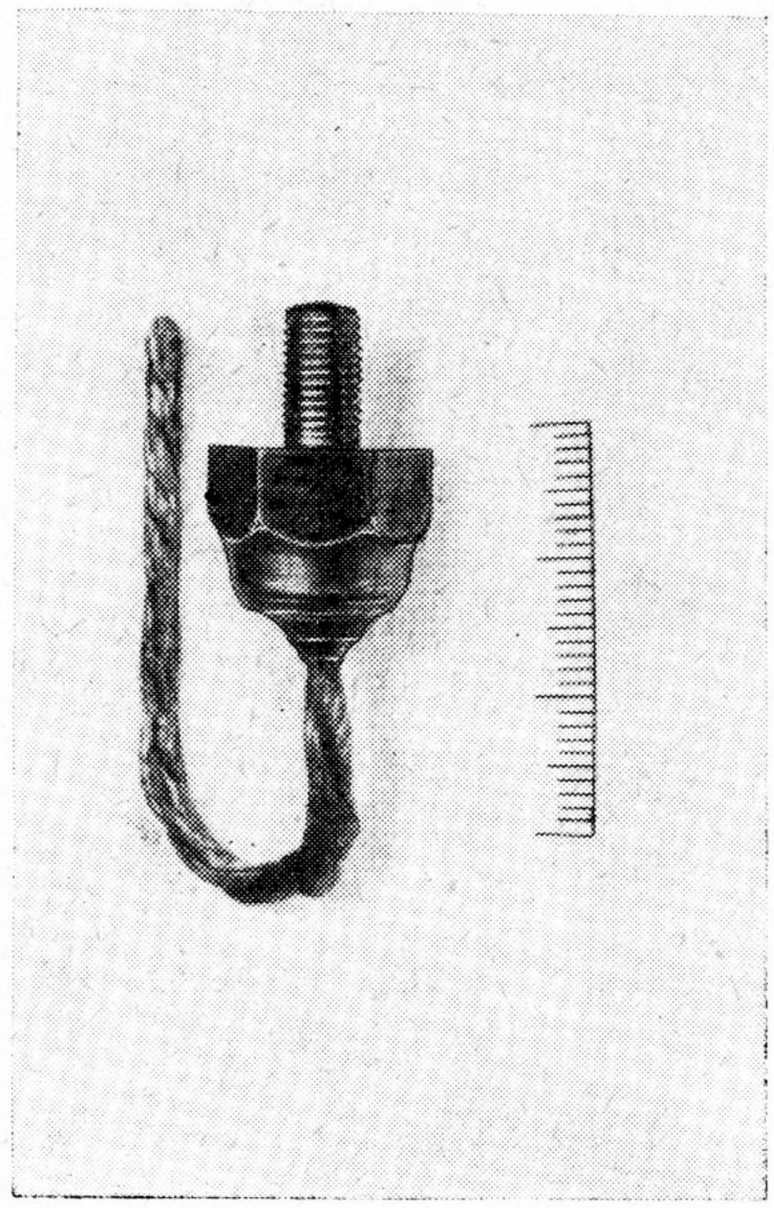
Rys. 9. Części składowe diody o prądzie wyprostowanym 1 A z własnym radiatorem chłodzącym



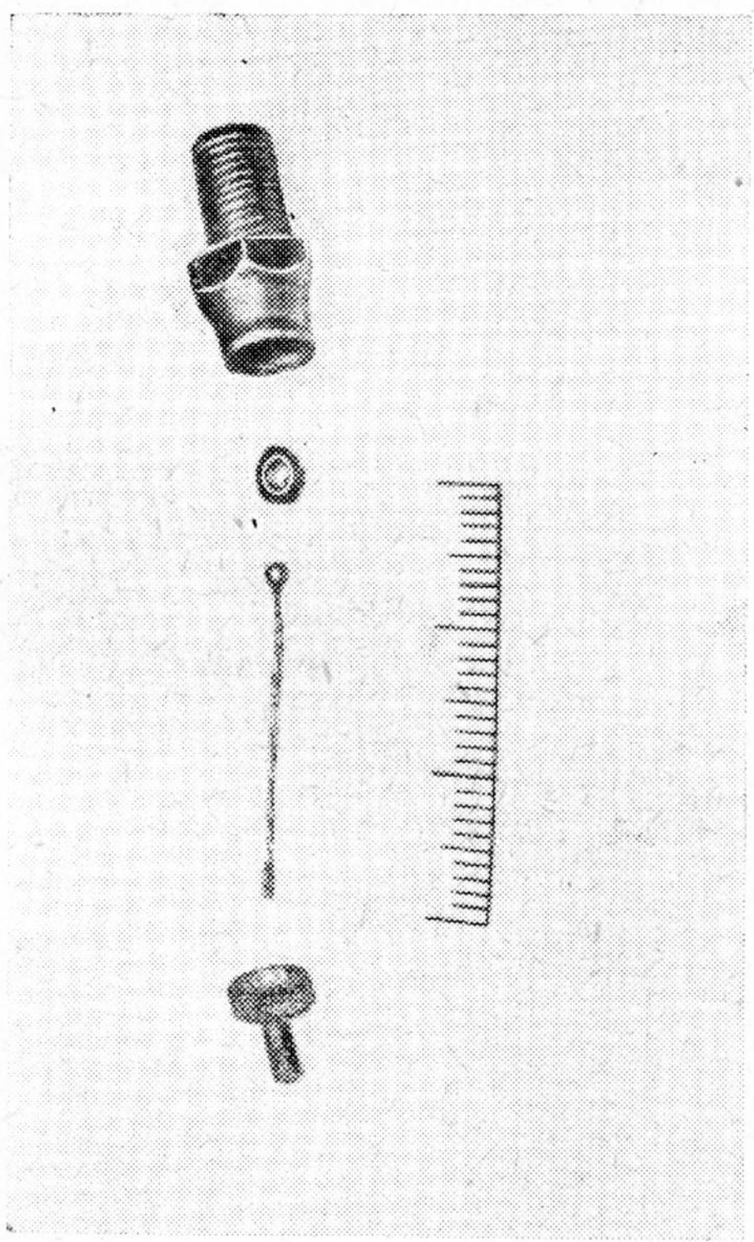
Rys. 10. Warstwowa dioda germanowa o prądzie wyprostowanym 1 A i napięciu wstecznym dochodzącym do 200 V



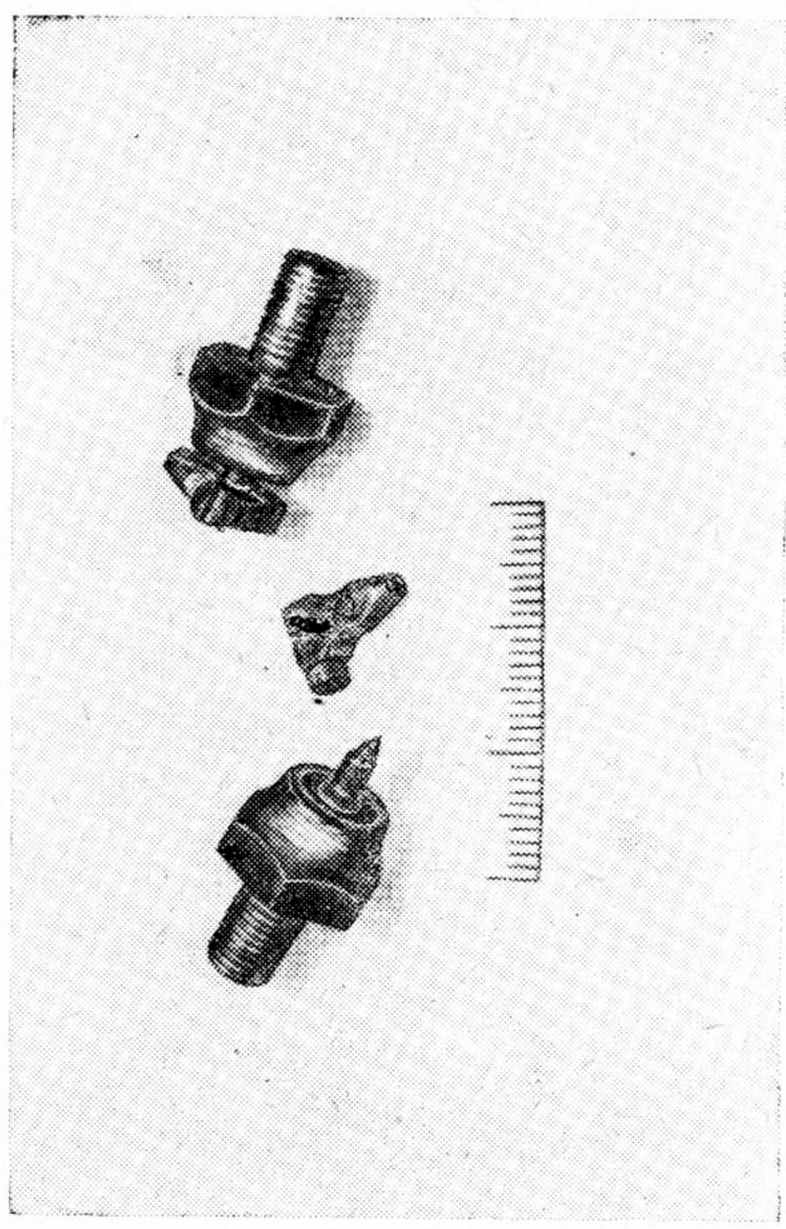
Rys. 12. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 2,5 A i napięciu wstecznym dochodzącym do 150 V



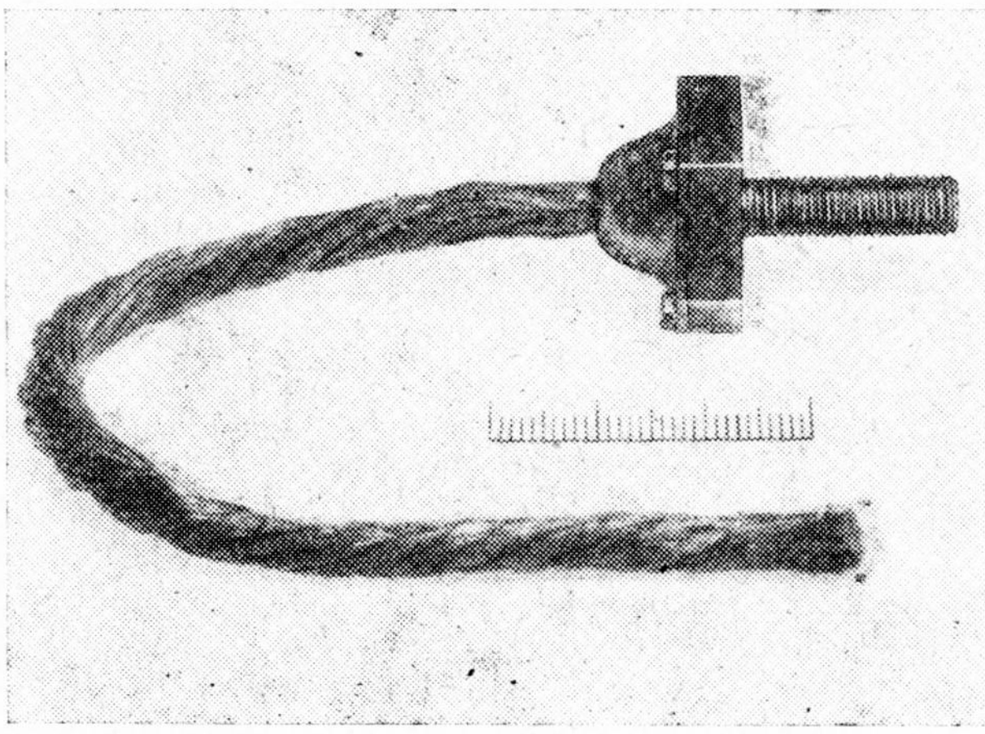
Rys. 14. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 10 A i napięciu wstecznym 80 V



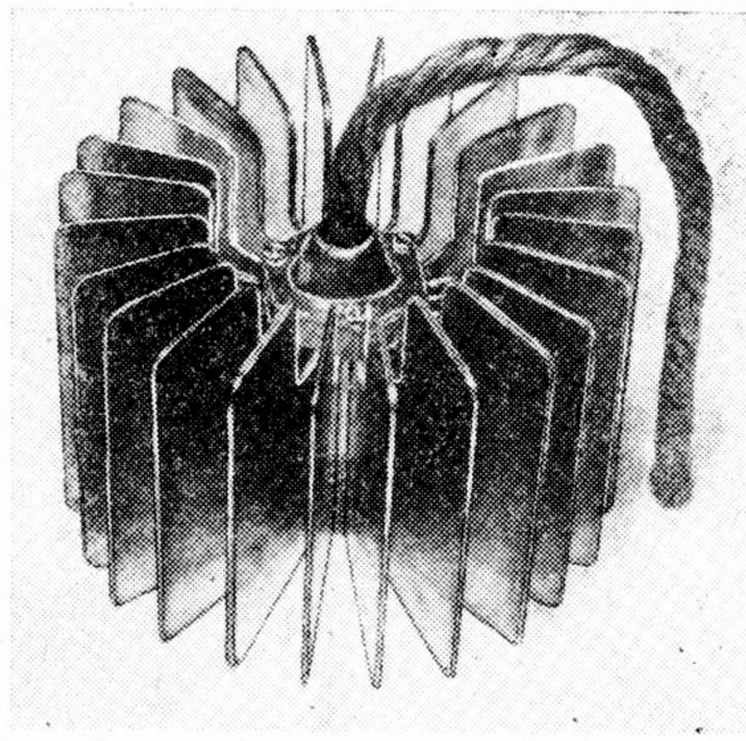
Rys. 11. Części składowe diody o prądzie wyprostowanym 2 A



Rys. 13. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 5 A i napięciu wstecznym 100 V



Rys. 15. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 20 A i napięciu wstecznym dochodzącym do 70 V, przeznaczona do pracy ze specjalnym radiatorem chłodzącym



Rys. 16. Germanowa dioda warstwowa (taka sama jak pokazana na rys. 15) z radiatorem chłodzonym powietrzem

prąd kilkudziesięciu amperów wymagają bardziej intensywnego chłodzenia na przykład strumieniem powietrza.

We wszystkich wspomnianych konstrukcjach german jest przylutowany do masy diody, ponieważ jego zdolność przewodzenia ciepła jest dwukrotnie większa niż indu. Złącza *p-n* są zalewane masą epoksydową chroniącą je przed wpływem atmosfery i wilgoci.

6. ELEKTRYCZNE WŁASCIWOSCI PROTOTYPOW DIOD GERMANOWYCH

Diody germanowe mają małe rozmiary, dużą sprawność (rzędu ok. 99%) oraz małą oporność w kierunku przewodzenia. Posiadają one wady, jak na przykład duży wpływ temperatury na parametry diody, występowanie prądu wstecznego oraz nieprzydatność do pracy przy częstotliwości większej niż 100 kHz.

Skonstruowanie warstwowych diod germanowych stanowi duży krok naprzód w dziedzinie prostowników stykowych. Prostowniki germanowe przewyższają na przykład prostowniki selenowe zarówno sprawnością, jak i napięciem wstecznym (ok. 10 razy) oraz gęstością prądu (ok. 4000 razy przy $U_p = 0{,}6$ V).

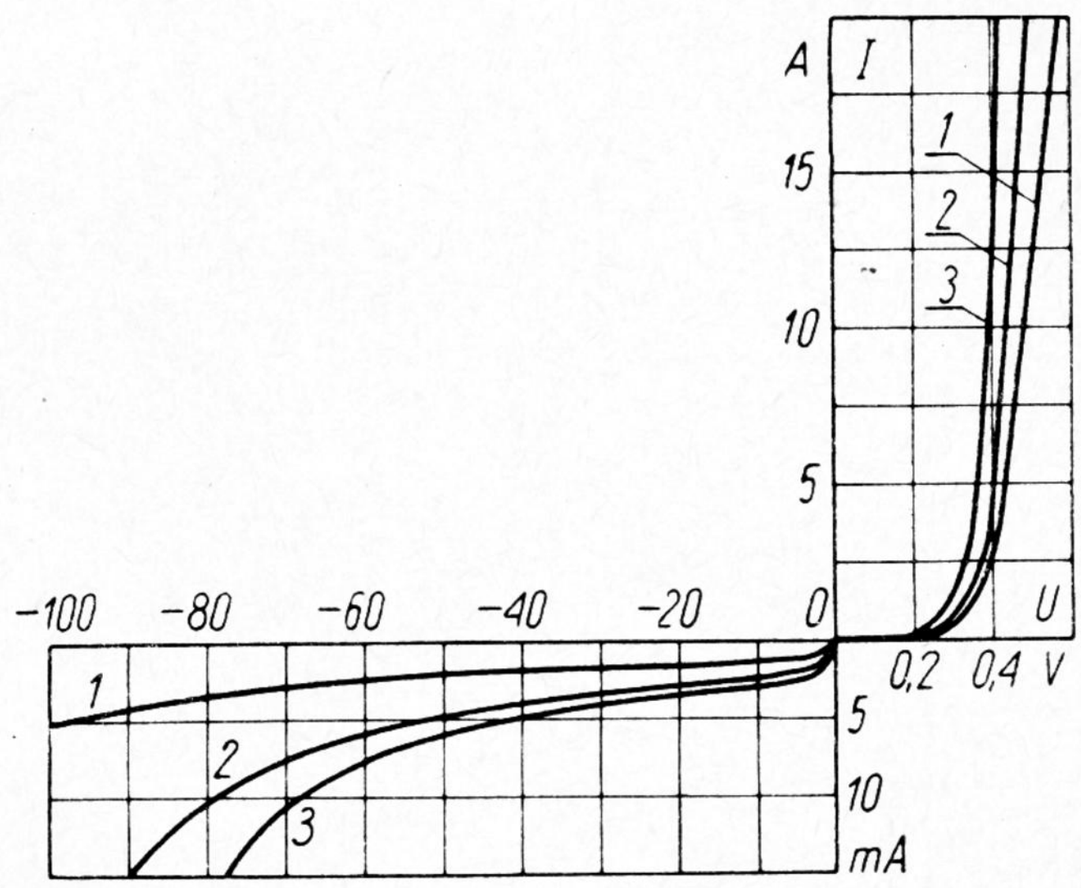
Poniżej podane są niektóre parametry elektryczne prototypów diod germanowych, których konstrukcja została opisana w p. 5. Oczywiście, podano prawie najwyższe napięcia i największe prądy, jakie uzyskano dla danego typu diod.

W podanych oznaczeniach diod litery DKM są symbolem germanowej diody warstwowej, pierwsza lub dwie pierwsze cyfry po literach oznaczają wartość napięcia zmiennego w dziesiątkach woltów, następne cyfry (po kresce) oznaczają wartość prądu wyprostowanego w amperach, przy czym jeżeli przed cyfrą występuje zero, to oznacza to dziesiąte części ampera.

Najwyższe napięcie zmienne jest określone jako skuteczna wartość napięcia dla prostownika w układzie jednopołówkowym z obciążeniem rzeczywistym i wynosi $U_w/\sqrt{2}$. Jeżeli na wyjściu prostownika znajduje się filtr pojemnościowy, to wartość ta będzie dwukrotnie mniejsza, tzn.

$$\frac{U_w}{2\sqrt{2}} \approx \frac{U_w}{3}$$

Tak samo określa się najwyższe napięcie zmienne dla diod w układzie dwupołówkowym z obciążeniem rzeczywistym i pojemnościowym.



Rys. 17. Charakterystyki statyczne germanowych diod warstwowych o prądzie wyprostowanym 5, 10 i 20 A

Największy prąd wyprostowany oblicza się na podstawie wielkości złącza *p-n* oraz przewidzianych możliwości chłodzenia dla danej oprawki. Spadek napięcia przy pełnym obciążeniu odpowiada średniej wartości prądu wyprostowanego i wartość tę można odczytać z charakterystyki statycznej. Pozostałe parametry opisane są w p. 3.

Charakterystyki statyczne tych diod pokazano na rys. 5, 6 i 17, konstrukcje zaś na rys. 8, 10, 12, 13, 14 i 16.

Oznaczenie diody	DGM30-03	DGM20-1	DGM15-2	DGM10-5	DGM8-10	DGM7-20
Najwyższe napięcie zmienne [V] (wartość skuteczna)	210	140	150	70	55	50
Największy prąd wyprostowany [A] (wartość średnia)	0,3	1	2	5	10	20
Napięcie wsteczne [V] (wartość szczytowa)	300	200	150	100	80	70
Prąd wsteczny [mA] odpowiadający napięciu wstecznemu	1	1	2	5	10	10
Spadek napięcia [V] przy pełnym obciążeniu	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45
Moc wyprostowana diody [W] przy $U_w = U_0$	71	157	237	395	635	1110
Strata mocy w kierunku przewodzenia [W]	0,15	0,6	1,1	2,9	5,7	11
Strata mocy w kierunku wstecznym [W]	0,07	0,05	0,07	0,12	0,20	0,18

WYKAZ LITERATURY

1. Brunke F.: Eigenschaften und Herstellung von Selen- und Kupferoxydulgleichtern. Halbleiterprobleme W. Schottky Bd. I.
2. Herlet A., Hoffman A.: Thermische Stabilität und Kühlprobleme bei Leistungsgleichrichtern. Halbleiterprobleme W. Schottky Bd. II.

3. Machin C. F.: Semiconductor High Power Rectifiers. — Research Vol. 8 July 1955.
4. Klamka J.: Germanowe diody mocy. — Elektronika 1957 Nr 6.
5. Majewski Z., Klamka J.: Prostowniki germanowe. — *Prz. telekom.* 1956 Nr 11.

Е. Клямка

КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕРМАНИЕВЫХ ПЛОСКОСНЫХ ДИОДОВ

На основании данных специальной литературы приведены величины параметров статической характеристики плоскостного диода, величины потерь мощности управления, коэффициент полезного действия, а также обсуждены вопросы его охлаждения.

Кроме того указаны: конструкции диодов, электрические параметры прототипов диодов мощности, разработанных автором в Лаборатории Электроники Института Основных Проблем Техники Польской Академии Наук.

J. Klamka

DESIGNS AND ELECTRICAL PROPERTIES OF GERMANIUM JUNCTION DIODES

Values of static characteristic parameters of the junction diode, values of the power-losses which follow as a result of the diode operation in a dynamic circuit and also capacity and the cooling problem (based on data from the literature) are discussed. Furthermore diode designs are presented and electrical parameters of high-power rectifier prototypes are given which are worked out by the author in the Electronic Laboratory of the Institute for Fundamental Technical Problems at the Polish Academy of Science.

J. Klamka

KONSTRUKTION UND ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN DER GERMANIUMFLÄCHENDIODEN

In dem Artikel sind Kennwerte von Parametern der statischen Kennlinien einer Flächendiode, Werte der Verlustleistung, die als Resultat deren Steuerung entstehen, Leistungswert und Probleme der Kühlung besprochen (bearbeitet auf dem Grunde der Fachliteratur).

Es werden auch Diodenkonstruktionen und elektrische Kennwerte von Prototypen der Leistungsdioden beschrieben, die von dem Verfasser in dem Laboratorium der Elektronik der Polnischen Akademie der Wissenschaften bearbeitet waren.