

Wydział WI	Imię i nazwisko 1. Dominik Marek 2. Maciej Nowakowski	Rok II	Grupa 8	Zespół 4
PRACOWNIA FIZYCZNA WFİS AGH	Temat: <u>Dioda półprzewodnikowa</u>			Nr ćwiczenia 123
Data wykonania 14.11.2023	Data oddania 23.11.2023	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia
				OCENA

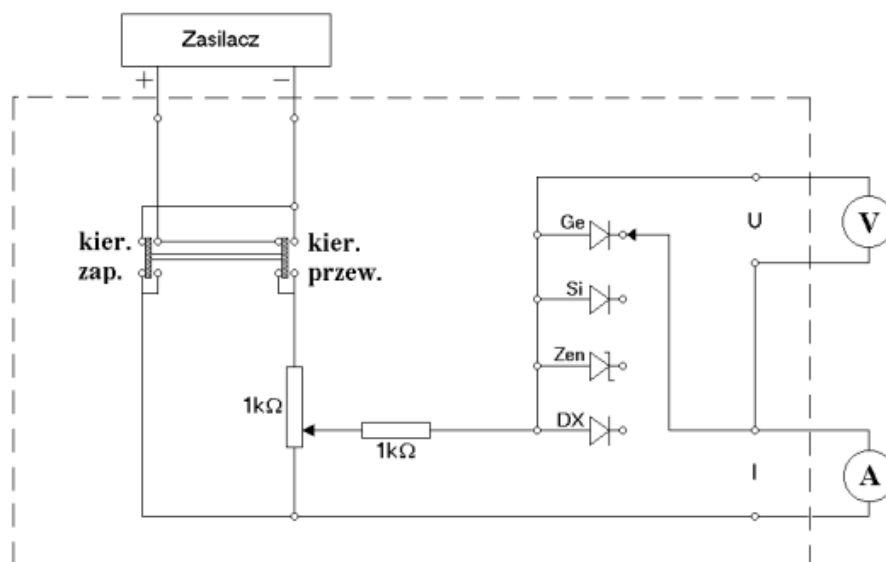
1.Cel ćwiczenia.

Poznanie własności warstwowych złącz półprzewodnikowych typu p-n. Wyznaczenie charakterystyk stałoprądowych dla różnych typów diod i ich interpretacja.

2.Opis stanowiska.

Układ pomiarowy składał się z następujących elementów:

- Zasilacz stabilizowany
- Woltomierz cyfrowy
- Amperomierz
- Płyta ćwiczeniowa, w której skład wchodzi:
 - przełącznik polaryzacji
 - przełącznik diod
 - potencjometr



Rys 1. Schemat płyty ćwiczeniowej

3. Przebieg doświadczenia.

Po zapoznaniu się z układem doświadczalnym i połączeniu płyty ćwiczeniowej z zasilaczem, amperomierzem i woltomierzem, przystąpiliśmy do zbierania pomiarów. Najpierw zmierzaliśmy wartości napięcia dla diody germanowej, dla kolejnych wartości natężenia prądu w kierunku przewodzenia. Następnie po zmianie polaryzacji na zaporową mierzyliśmy wartości napięcia przy zadanym natężeniu. Powyższe kroki zostały wykonane dla poszczególnych diod.

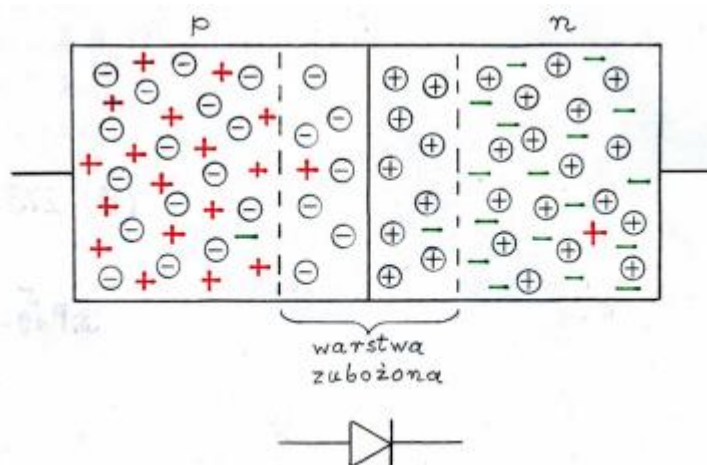
4. Wstęp teoretyczny.

4.1 Domieszkowanie półprzewodników.

Nośnikami prądu w półprzewodnikach są ujemne elektrony i dodatnio naładowane kwazicząstki zwane dziurami. Prawie wszystkie zastosowania półprzewodników wymagają zastosowania domieszek, modyfikujących właściwości elektronowe materiału wyjściowego. Donorem nazywamy atom domieszki, która "dostarcza" do półprzewodnika dodatkowe elektrony. Domieszki akceptorowe to z kolei atomy mające jeden elektron walencyjny mniej (np. bor w krzemie). Koncentracja elektronów jest bliska koncentracji atomów donorowych. Elektrony te nazywamy nośnikami większościowymi, natomiast dziury mniejszościowymi.

2.2 Złącze p-n.

Złącze p-n wyobrazić sobie można jako połączenie półprzewodnika typu n i typu p. Wytwarza się w nich dwa metalowe kontakty, umożliwiające przepływ prądu przez złącze. Element elektroniczny wykorzystujący pojedyncze złącze nazywamy diodą półprzewodnikową. Właściwością złącza jest nieliniowa charakterystyka prądowo napięciowa $I(U)$. Złącze łatwo przewodzi w kierunku przewodzenia i trudno – w kierunku zaporowym. W przypadku napięcia przyłożonego tak, że (+) znajduje się po stronie p, a (-) po stronie n, powstanie pole elektryczne popychające większościowe dziury z obszaru p w prawo, a analogiczne większościowe elektrony w kierunku przeciwnym. To kierunek przewodzenia, z dużą wartością prądu. Gdy napięcie przyłożymy przeciwnie, wtedy przez powierzchnię złącza mogą płynąć tylko nośniki mniejszościowe, których jest bardzo mało. W konsekwencji, płynący prąd będzie znikomo mały. Prostownicze właściwości diody mogą być wykorzystane do przekształcenia prądu przemiennego na stały.



Rysunek 1. Mikroskopowy obraz złącza p-n

Równaniem opisującym związek pomiędzy napięciem U na diodzie p-n a płynącym przez nią prądem jest równanie Shockleya:

$$I = I_S \cdot \exp\left(\frac{eU}{mk_bT}\right)$$

gdzie:

I_S – prąd nasycenia złącza,

e – ładunek elementarny,

k_b – stała Boltzmana,

T – temperatura,

m – współczynnik idealności złącza,

Po obustronnym zlogarytmowaniu otrzymujemy:

$$\ln(I) = \ln(I_S) + \frac{eU}{mk_bT}$$

Zatem logarytm natężenia jest opisany zależnością liniową:

$$\ln(I) = aU + b$$

Gdzie:

$$a = \frac{e}{mk_bT}$$

$$b = \ln(I_S)$$

Współczynnik nieidealności diody m :

$$m = \frac{1}{a \cdot U_T}$$

gdzie:

a – wartość współczynnika nachylenia prostej zależności $\ln(I)$ od U

U_T – napięcie termiczne (dla $T = 300K$ $U_T = 26$ mV)

– Współczynnik stabilizacji Z :

$$Z = \frac{r}{R}$$

gdzie:

r – oporność dynamiczna

R – oporność statyczna

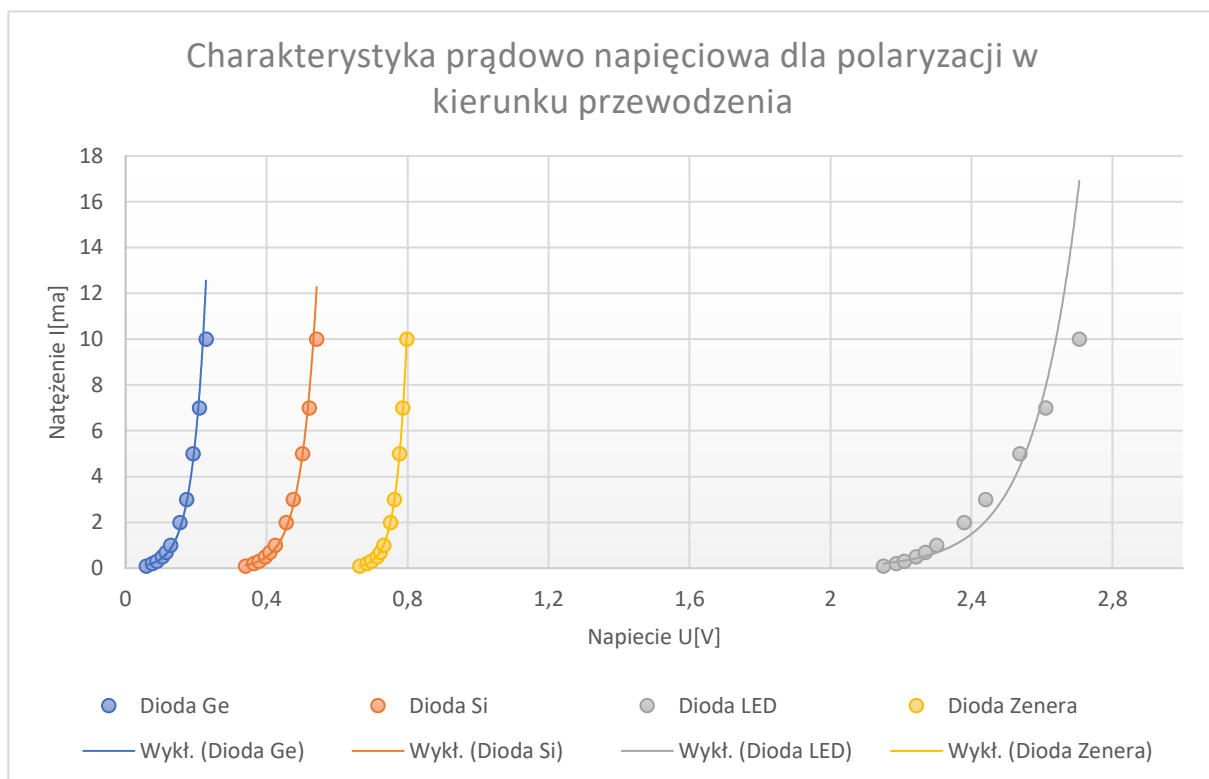
5.1 Opracowanie wyników.

<i>I</i> [mA]	<i>Napięcie diody</i>			
	<i>Ge</i>	<i>Si</i>	<i>LED</i>	<i>Zenera</i>
0,1	0,058	0,340	2,150	0,664
0,2	0,076	0,364	2,186	0,685
0,3	0,088	0,378	2,209	0,697
0,5	0,104	0,396	2,243	0,713
0,7	0,115	0,409	2,269	0,722
1,0	0,127	0,424	2,301	0,732
2,0	0,154	0,455	2,379	0,751
3,0	0,173	0,475	2,440	0,762
5,0	0,191	0,502	2,537	0,777
7,0	0,209	0,521	2,611	0,786
10,0	0,228	0,542	2,706	0,798

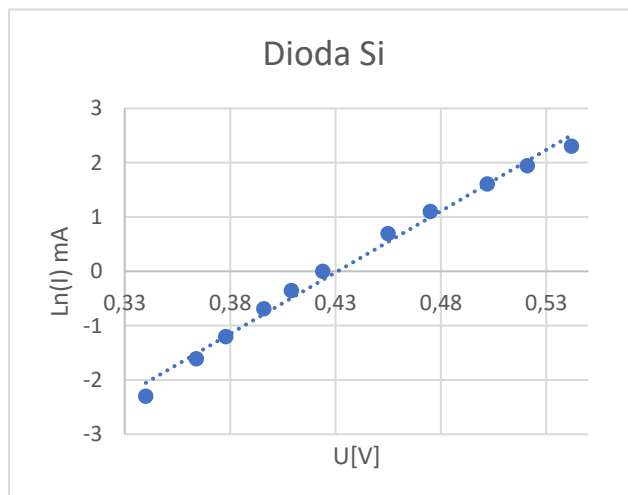
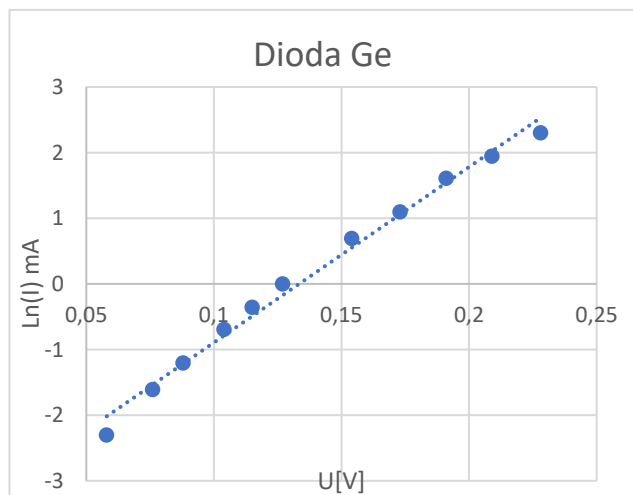
Tabela 1. Charakterystyka prądowo napięciowa dla polaryzacji w kierunku przewodzenia.

<i>Dioda Ge</i>		<i>Inne diody</i>			<i>Zenera</i>	
<i>U</i> [V]	<i>I</i> [μ A]	<i>U</i> [V]	<i>Si</i> <i>I</i> [μ A]	<i>LED</i> <i>I</i> [μ A]	<i>I</i> [mA]	<i>U</i> [V]
-0,02	-7,75	-0,1	-0,02	0	-0,1	-1,39
-0,04	-10,76	-0,2	-0,03	-0,01	-0,2	-1,54
-0,06	-12,46	-0,3	-0,05	-0,02	-0,3	-1,63
-0,08	-13,26	-0,5	-0,07	-0,04	-0,5	-1,77
-0,10	-13,94	-0,7	-0,10	-0,06	-0,7	-1,82
-0,20	-14,42	-1,0	-0,13	-0,09	-1,0	-1,88
-0,30	-14,49	-1,5	-0,19	-0,14	-1,5	-2,03
-0,50	-14,61	-2,0	-0,24	-0,20	-2,0	-2,11
-0,70	-14,86	-3,0	-0,35	-0,30	-3,0	-2,23
-1,00	-14,85	-4,0	-0,45	-0,40	-4,0	-2,31
-1,50	-15,03	-5,0	-0,56	-0,50	-5,0	-2,39
-2,0	-15,20	-6,0	-0,66	-0,60	-6,0	-2,46
-3,0	-15,51	-7,0	-0,77	-0,70	-7,0	-2,51
-4,0	-15,83	-8,0	-0,87	-0,80	-8,0	-2,56
-5,0	-16,16	-9,0	-0,98	-0,90	-9,0	-2,60
-6,0	-16,56	-10,0	-1,09	-1,00	-10,0	-2,63

Tabela 2. Charakterystyka prądowo napięciowa w przypadku polaryzacji w kierunku zaporowym



5.2 Wyznaczenie wartości współczynnika idealności dla diod krzemowej i germanowej.



Wykresy wartości $\ln(I)$ [mA] w zależności od napięcia U [V] dla diod krzemowych.

Wyliczyć wartości współczynnika idealności można ze wzoru:

$$m = \frac{1}{a \cdot U_T}$$

Gdzie a zostało wyznaczone przy pomocy funkcji reglinp w arkuszu kalkulacyjnym programu Excel, a za U_T przyjęto wartość 26 mV

Dioda	$a[1/V]$	$a(u)[1/V]$	m
Ge	26,75	0,89	1,44
Si	22,58	0,72	1,70

Tabela wartości współczynnika idealności dla diod krzemowej i germanowej.

5.3 Przesunięcie charakterystyk diody krzemowej względem germanowej

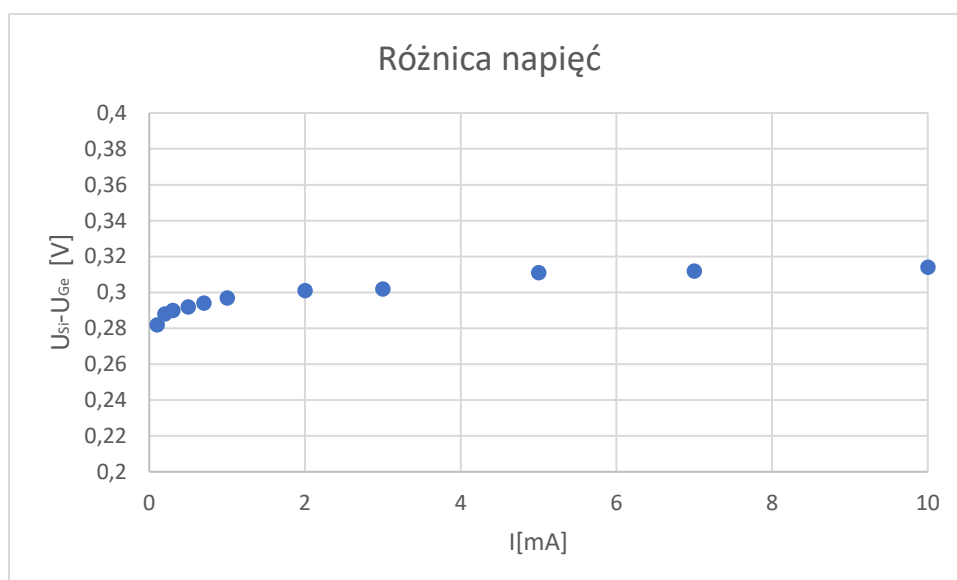
W następnym kroku liczymy różnicę $U_{Si} - U_{Ge}$.

Wyliczona z jako średnia różnic dla każdego badanego natężenia i wynosiła 0,298V.

Różnica przerw energetycznych $E_{Si} - E_{Ge}$ wynosi:

$$1,11\text{eV} - 0,67\text{eV} = 0,44\text{eV}$$

Wyliczone różnice są do wartości różne, a powinny być takie same. Wynika z to prawdopodobnie z niedokładności pomiarowej i czynników zewnętrznych takich jak na przykład temperatura.



5.4 Przesunięcie charakterystyk diody świecącej względem krzemowej

Różnica napięć była wyliczana analogicznie jak w kroku 5.3 i wynosiła 1,930V.

Na podstawie tej wartości oraz wartości E_{Si} oraz wyliczonej różnicy napięć można obliczyć $E_g(\text{LED})$

$$E_g(\text{LED}) = 1,11\text{eV} + 1,93\text{eV} = 3,04\text{eV}.$$

Wartość ta mieści się w zakresie spektrum widzialnego, które zawiera się w przedziale (1,65eV; 3,1eV) i oznacza, że kolor diody był niebieski.

5.5 Materiał diody Zenera

Najpierw różnica napięć została wyliczona względem diody krzemowej dla natężenia $I=10\text{mA}$

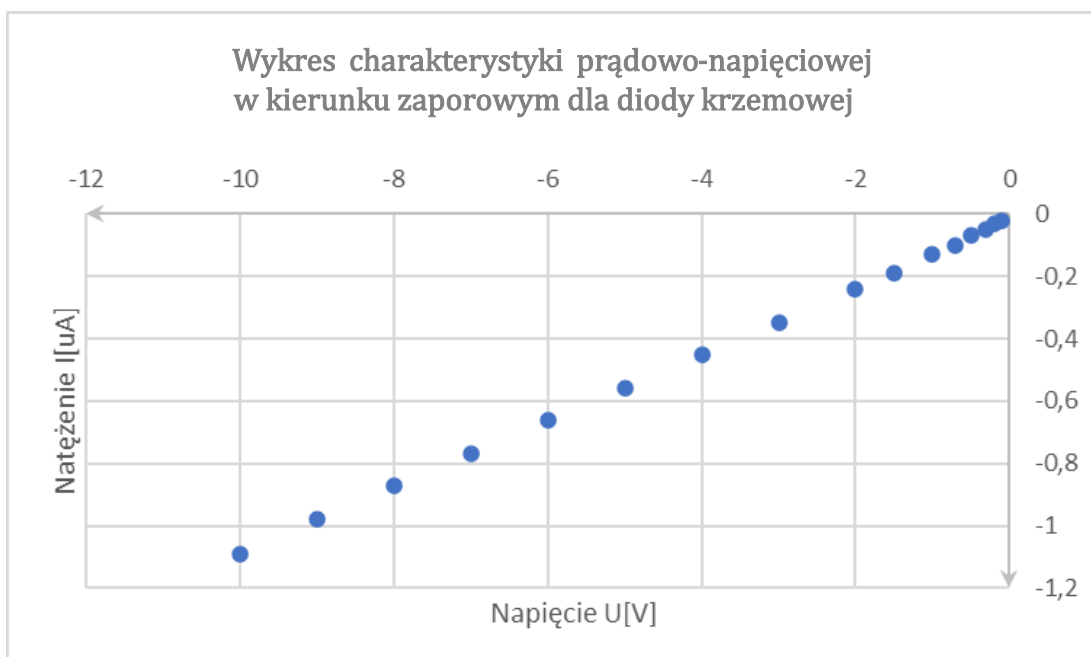
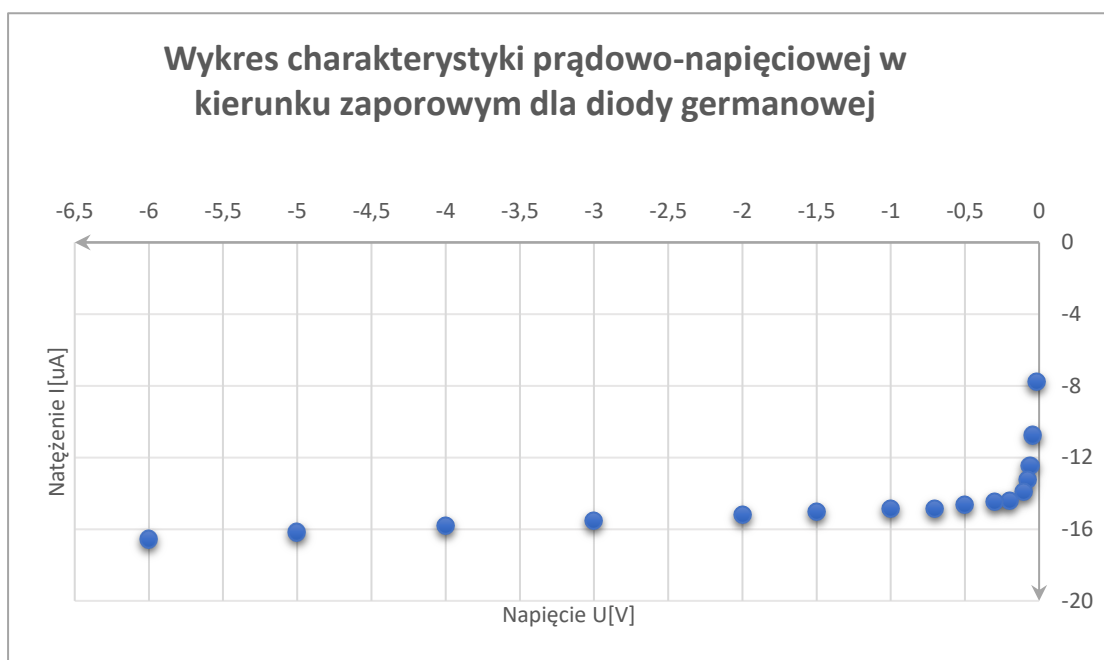
$$U_{\text{Zenera}} - U_{\text{Si}} = 0,798\text{V} - 0,542\text{V} = 0,256\text{V}$$

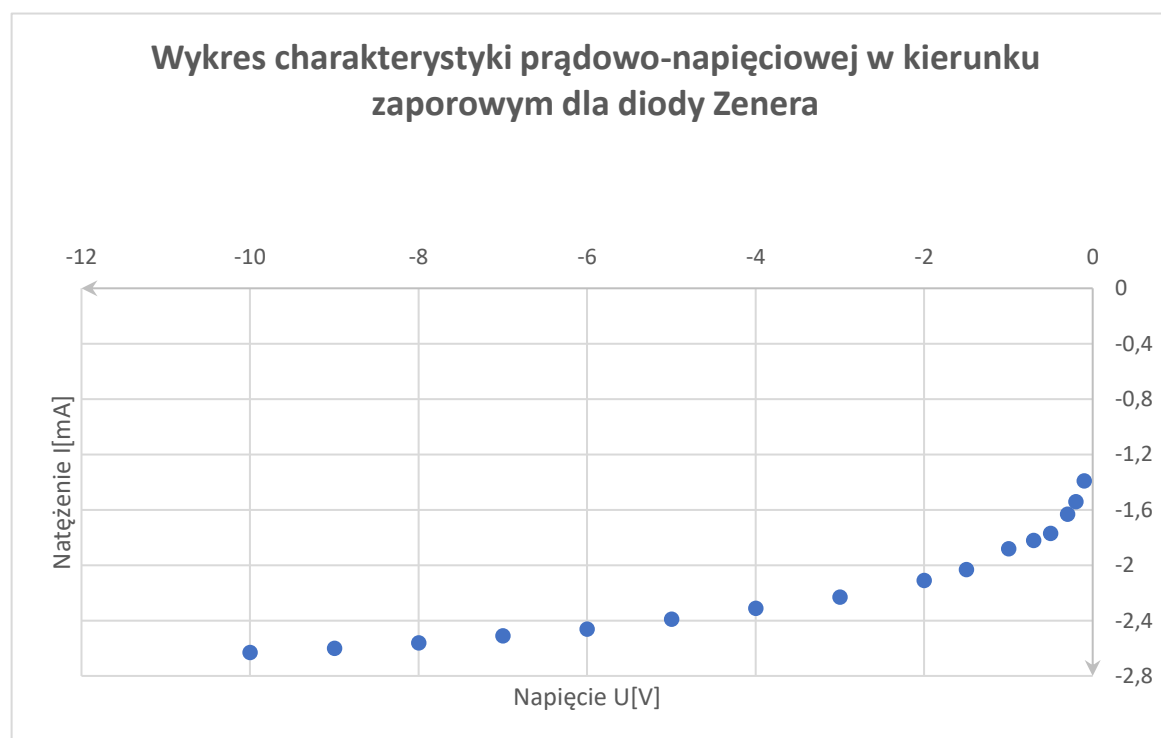
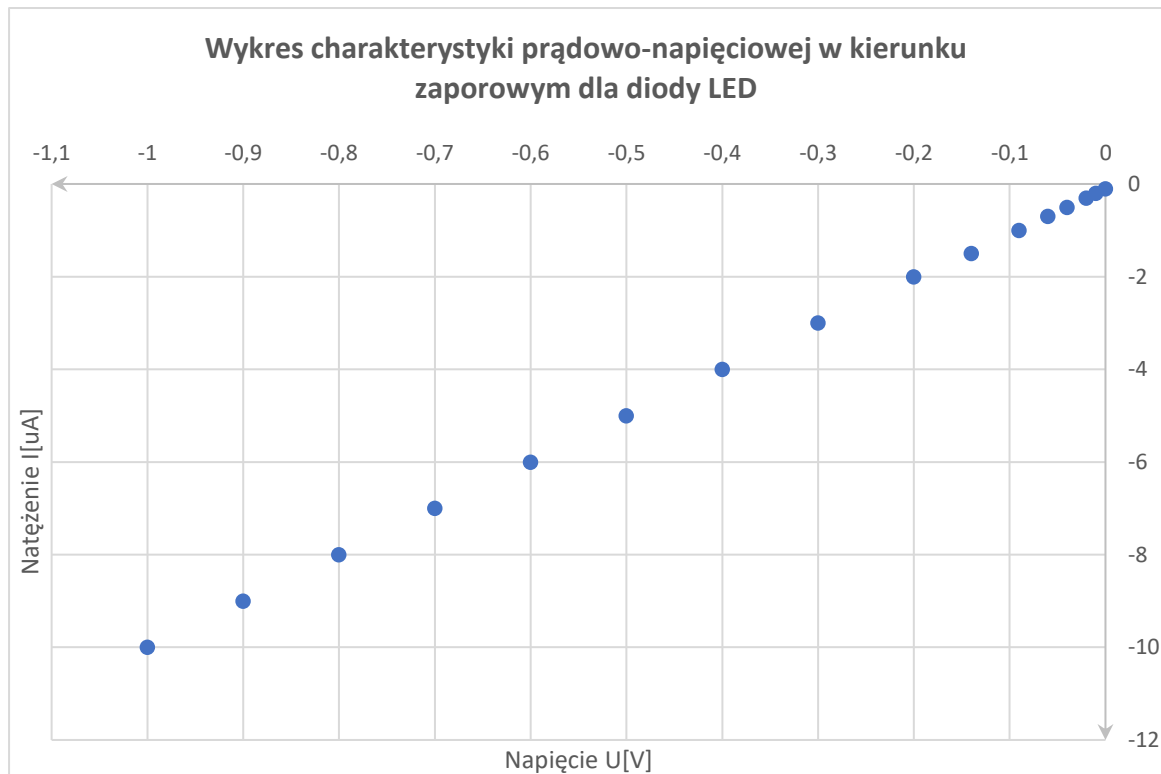
$$E_g(\text{Si}) = 1,11\text{eV}$$

$$E_g(\text{Zenera}) = 1,11\text{eV} + 0,256\text{eV} = 1,366\text{eV}$$

Jest to wartość będąca najbliższą wartości tabelarycznej fosforku indu wynoszącej $1,35\text{eV}$, co może oznaczać, że to z niego została wykonana dioda.

6. Opracowanie wyników dla kierunku zaporowego





6.1 Napięcie stabilizowane U_Z diody Zenera

Wartość tego napięcia dla diod małej i średniej mocy ustalamy umownie dla natężenia prądu zaporowego diody $I_Z = 5 \text{ mA}$.

Dla powyższego natężenia napięcie stabilizowane wynosi **$U_Z = 2,39 \text{ V}$**

6.2 Współczynnik stabilizacji Z Diody Zenera

Najpierw policzymy oporności dynamiczne r i statyczne R . Dla oporności dynamicznej r bierzemy pod uwagę przedział $5 \text{ mA} \pm 3 \text{ mA}$.

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0,45V}{6mA} = 75\Omega$$

$$R = \frac{U_z}{I_z} = \frac{2,39V}{5mA} = 478\Omega$$

$$Z = \frac{r}{R} = \frac{75\Omega}{478\Omega} = 0,16$$