

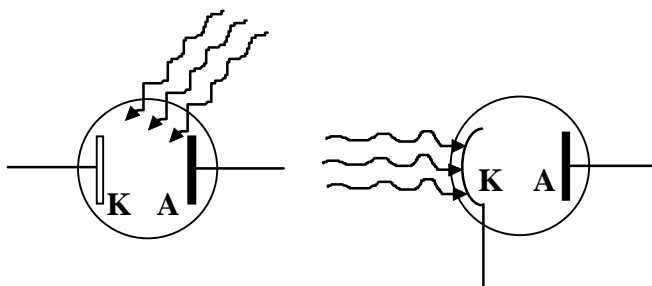
BADANIE FOTOPOWIELACZA

- I. Cel ćwiczenia:** zapoznanie z budową, przeznaczeniem i zastosowaniem fotopowielacza oraz ze zjawiskiem fotoelektrycznym zewnętrznym.
- II. Przyrządy:** zasilacz wysokiego napięcia ZWN-41 lub ZWN-42, zasilacz niskiego napięcia, woltomierz cyfrowy o zakresie 0,2mV, opornik 10kΩ .

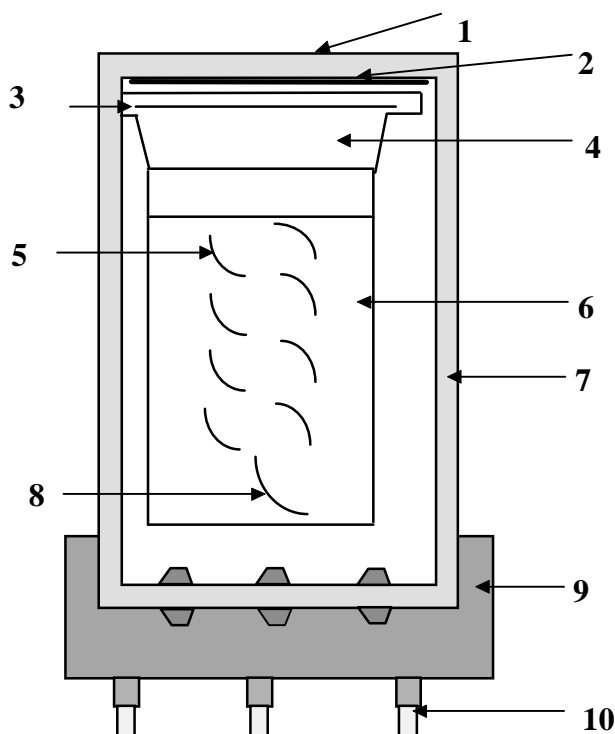
III. Budowa i zasada działania fotopowielacza.

Fotopowielaczem nazywamy próżniową lampę elektronową, przeznaczoną do zamiany strumienia światła na prąd elektryczny, zbudowaną w oparciu o wykorzystanie dwóch zjawisk fizycznych: *zewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego* i *zjawiska wtórnej emisji elektronów*. Lampa ta składa się z dwu zasadniczych części: światłoczułego elementu zwanego fotokatodą, przetwarzającego padające nań światło w prąd elektronowy i powielacza elektronowego, wzmacniającego ten prąd dzięki zjawisku emisji wtórnej elektronów. Oba te elementy umieszczone są we wspólnej obudowie.

Fotokatodę najczęściej stanowi półprzezroczysta warstwa półprzewodnika, naniesiona na wewnętrzną stronę okienka fotopowielacza (patrz rys. 1, 2), za którą znajdują się elektrody tworzące elektronowy układ optyczny, ogniskujący wybite przez fotony elektrony na pierwszej elektrodzie powielacza. Powielacz składa się z szeregu elektrod, zwanych dynodami wykonanych z materiału charakteryzującego się wysokim współczynnikiem emisji wtórnej - elektron uderzający w elektrodę wybija z niej kilka elektronów wtórnych, które kierowane są polem elektrostatycznym na następną dynodę, gdzie proces ten powtarza się. Wzmocniony w ten sposób strumień elektronów trafia w anodę, skąd odprowadzany jest do układu pomiarowego.



Rys. 1. Rodzaje fotokatod: a) nieprzezroczysta, b) półprzezroczysta.



Rys. 2. Fotopowielacz w przekroju:

- 1 - okienko,
- 2 - fotokatoda,
- 3 - elektroda ogniskująca,
- 4 - elektronowy układ optyczny,
- 5 - pierwsza dynoda,
- 6 - powielacz elektronowy,
- 7 - bańka szklana,
- 8 - anoda,
- 9 - cokół,
- 10 - wyprowadzenia.

IV. Własności fotokatody.

Zewnętrzne zjawisko fotoelektryczne może zachodzić, jeśli energie fotonów strumienia światła padającego na fotokatodę są nie mniejsze od pracy wyjścia elektronu z materiału, z jakiego jest wykonana fotokatoda. Wynika stąd wniosek, że wartość pracy wyjścia Φ materiału fotokatody określa maksymalną długość λ_{\max} fali światła, które może być rejestrowane przez fotopowielacz:

$$\lambda_{\max} = \frac{h \cdot c}{\Phi} \quad (1)$$

gdzie h - stała Plancka,
 c - prędkość światła w próżni.

Drugim podstawowym parametrem fotokatody jest tzw. wydajność kwantowa, definiowana jako stosunek liczby emitowanych fotoelektronów do liczby padających fotonów. Badając zależność wydajności kwantowej od grubości fotokatody stwierdzono, że tylko około 10% fotoelektronów jest emitowanych z warstwy przypowierzchniowej o grubości rzędu 10^{-7} cm - stąd konieczność stosowania fotokatod wykonanych z takich materiałów, dla których prawdopodobieństwo opuszczenia przez elektron, wyemitowany z atomu położonego w głębi fotokatody jest stosunkowo wysokie. Fotoelektron w drodze do powierzchni warstwy może tracić energię kinetyczną wskutek zderzeń z atomami siatki krystalicznej i z elektronami przewodnictwa, przy czym ten ostatni rodzaj zderzeń łączy się najczęściej z dużymi stratami energii, gdyż zderzają się cząstki o identycznych masach. Dlatego też we współczesnych fotopowielaczach stosuje się fotokatody półprzewodnikowe, osiągające wydajności kwantowe rzędu 20-30%, podczas gdy fotokatody metaliczne charakteryzują się wydajnościami nie przekraczającymi 0,1%. Materiał fotokatody dobiera się nie tylko ze względu na maksymalną wartość wydajności kwantowej ale i jej zależności od długości fali świetlnej - stąd fotopowielacze przewidziane np. do pomiarów w zakresie promieniowania podczerwonego i w zakresie promieniowania nadfioletowego.

V. Własności powielacza elektronowego.

Powielacz elektronowy składa się z kilku lub kilkunastu dynod tak ukształtowanych, aby elektrony wtórne, wybite z danej dynody trafiały w następną dynodę, znajdującą się na wyższym potencjale elektrostatycznym. Materiał, z którego wykonane są dynody charakteryzuje się nie tylko wysokim, ale i stałym w czasie współczynnikiem emisji wtórnej, który określa średnią liczbę elektronów wtórnych przypadających na jeden elektron padający. Ponadto materiał ten musi zapewnić niski poziom termoemisji elektronów, wiadomo bowiem że zarówno z fotokatody jak i dynod powielacza emitowane są pod wpływem ciepła elektrony. Zgodnie z prawem Richardsona liczba elektronów J , emitowanych w czasie 1s przez powierzchnię 1 cm^2 wynosi:

$$J = 7,5 \cdot 10^{20} \cdot T^2 \cdot \exp[-e\Phi/kT], \quad (2)$$

gdzie : T - temperatura próbki w stopniach Kelwina,

e - ładunek elementarny ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$),

Φ - praca wyjścia elektronu z próbki [eV].

Zjawisko termoemisji jest główną przyczyną powstawania tzw. prądu ciemnego - to jest prądu płynącego przez fotopowielacz znajdujący się w całkowitej ciemności.

W chwili obecnej dynody wykonuje się głównie ze specjalnych stopów srebra z magnezem, a wykres zależności współczynnika emisji wtórnej δ od energii kinetycznej elektronu jest przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Zależność współczynnika emisji wtórnej δ od energii kinetycznej elektronu.

Aby elektrony wybite z jednej dynody trafiły w następną i wybiły z niej odpowiednią liczbę elektronów wtórnych każda następną dynoda posiadać musi wyższy potencjał elektrostatyczny, co osiąga się poprzez zasilanie fotopowielacza z zasilacza wysokiego napięcia przez oporowy dzielnik napięcia. W pierwszym przybliżeniu możemy założyć, że współczynnik emisji wtórnej δ jest proporcjonalny do różnicy potencjałów między kolejnymi dynodami:

$$\delta \approx k \cdot U_s \quad (3)$$

Jeśli zdefiniujemy współczynnik całkowitego wzmocnienia fotopowielacza G , jako stosunek liczby elektronów docierających do anody do liczby elektronów padających na pierwszą dynodę, to dla powielacza o n dynodach otrzymamy:

$$G \approx \delta^n = (k \cdot U_s)^n \quad (4)$$

Różniczkując równanie (4) i dzieląc stronami otrzymane wyrażenie przez (4) uzyskujemy wzór, opisujący względną zmianę wzmocnienia w funkcji względnej zmiany napięcia:

$$\frac{dG}{G} \approx n \cdot \frac{dU_s}{U_s}. \quad (5)$$

VI. Zastosowania fotopowielaczy.

Fotopowielacze są wykorzystywane głównie do pomiarów bardzo małych strumieni światła ($10^{-17} \text{ W} \div 10^{-4} \text{ W}$). Ogólnie wyodrębnić można trzy zasadnicze rodzaje zastosowań:

- pomiary małych natężeń światła,
- pomiary czasu w szybkozmiennych zjawiskach optycznych,
- detekcja promieniowania jonizującego (liczniki scyntylacyjne, Czerenkowa).

W zależności od typu fotopowielacza i rodzaju jego zastosowania stosowane są do pomiaru sygnału wyjściowego różne układy elektroniczne.

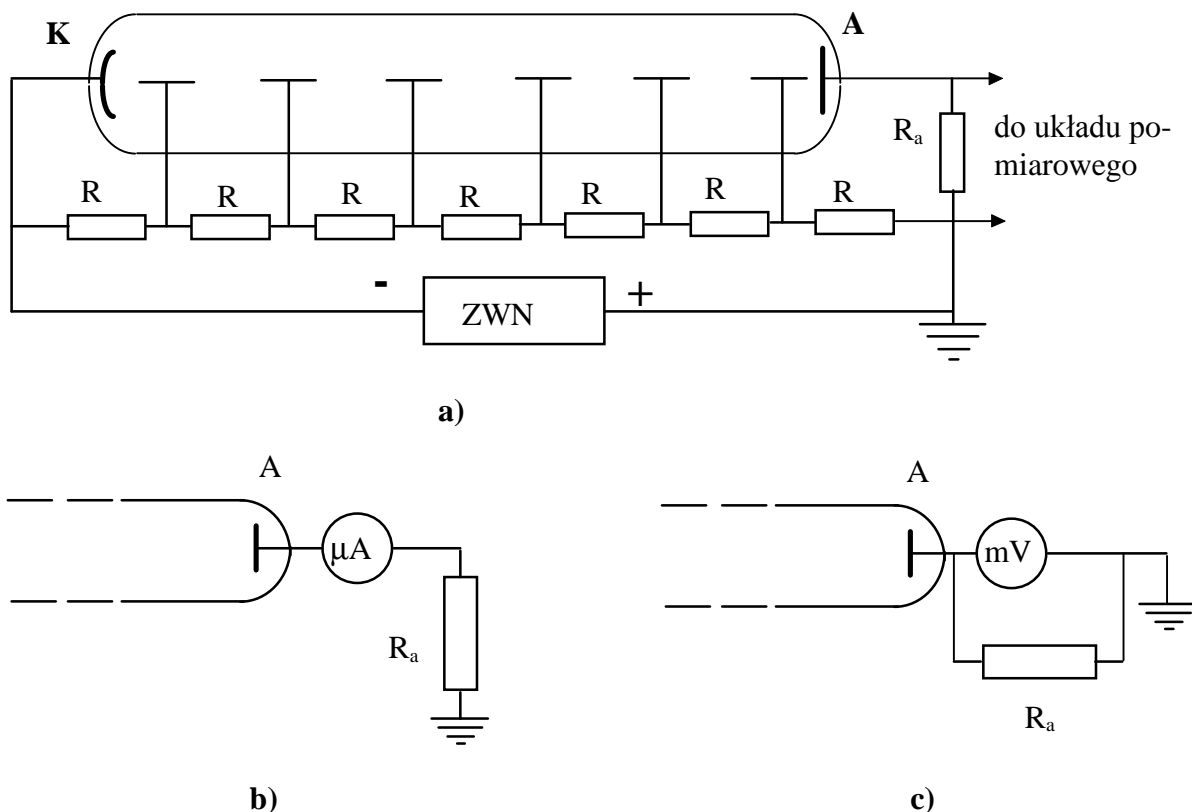
Uwzględniając fakt, że elektron opuszczający fotokatodę inicjuje w powielaczu lawinę elektronową sposób pomiaru sygnału wyjściowego z powielacza zależy od tego, na które z trzech poniższych pytań chcemy uzyskać odpowiedź :

- ile lawin elektronowych zawiera sygnał wyjściowy?
- ile elektronów zawiera każda lawina?
- ile elektronów opuszcza anodę w jednostce czasu?

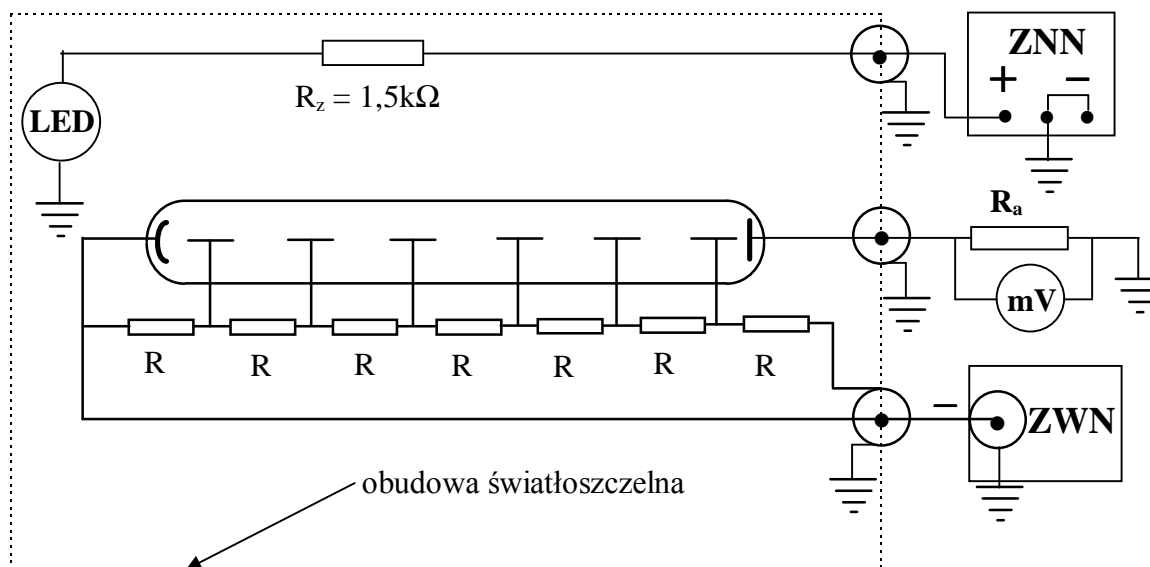
Niewątpliwie najprostszym układem pomiarowym jest układ służący do pomiaru stałego w czasie strumienia światła - dwie równoważne wersje tego układu przedstawia rys. 4b i rys. 4c.

VII. Pomiary.

We wspólnej obudowie światłoszczelnej jest umieszczony wraz z dzielnikiem napięcia fotopowielacz typu FEU-33 i dioda elektroluminescencyjna (LED), stanowiąca źródło światła (patrz przypis).



Rys. 4. Schemat zasilania fotopowielacza a), pomiar prądowy sygnału wyjściowego fotopowielacza b), pomiar napięciowy sygnału wyjściowego fotopowielacza c).



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego: **LED** - dioda elektroluminescencyjna, **ZWN** - zasilacz wysokiego napięcia, **ZNN** - zasilacz niskiego napięcia, **mV** - multimetr cyfrowy pracujący jako miliwoltomierz (na zakresie 200mV).

Fotopowielacz FEU-33 posiada fotokatodę półprzezroczystą, wykonaną z SbCs i 13 - to dynodowy powielacz o nominalnym współczynniku wzmocnienia 10^6 przy napięciu 1280 V.

Należy połączyć przyrządy wg schematu przedstawionego na rysunku 5 i wykonać pomiary spadku potencjału na oporze anodowym w funkcji napięcia zasilania fotopowielacza dla pięciu wartości napięcia zasilania diody elektroluminescencyjnej czyli dla pięciu wartości strumienia światła. Następnie należy przeprowadzić pomiary spadku potencjału na oporze anodowym w funkcji napięcia zasilania diody dla trzech wartości napięcia zasilania fotopowielacza. Podczas pomiarów nie wolno przekraczać następujących wartości napięć:

- 1900 V dla fotopowielacza,
+20 V dla diody,
200 mV dla spadku potencjału na oporze anodowym fotopowielacza.

Przekroczenie tych wartości może spowodować uszkodzenie przyrządów.

VIII. Sposób opracowania wyników.

1. Wykreślić na jednym rysunku zależności:

$$\lg(I_a) = f(U_f) \quad \text{dla } U_d = \text{const.}$$

gdzie: I_a - natężenie prądu anodowego fotopowielacza,
 U_f - napięcie zasilania fotopowielacza,
 U_d - napięcie zasilania diody.

2. Wykreślić na jednym rysunku zależności:

$$I_a = f(U_d) \quad \text{dla } U_f = \text{const.}$$

3. Wykreślić zależność wartości logarytmu średniego współczynnika wzmocnienia fotopowielacza ($\log G$) od wartości napięcia zasilania fotopowielacza U_f , zakładając, że wartość tego współczynnika wynosi 10^6 dla $U_f = 1280$ V (badany fotopowielacz posiada $n = 13$ dynod).
4. Znając wartość współczynnika całkowitego wzmocnienia fotopowielacza G dla napięcia zasilania $U_f = 1280$ V, obliczyć przybliżone wartości średniego współczynnika emisji wtórnej δ dla

skrajnych wartości napięć zasilania oraz wartości $U_f = 1280\text{V}$, zakładając, że średnio na dwie kolejne dynody przypada ta sama różnica potencjałów (patrz wzór (4), w którym $U_s = U_f / (n + 1)$).

5. Ocenic dokładność pomiarów i omówić uzyskane wyniki.

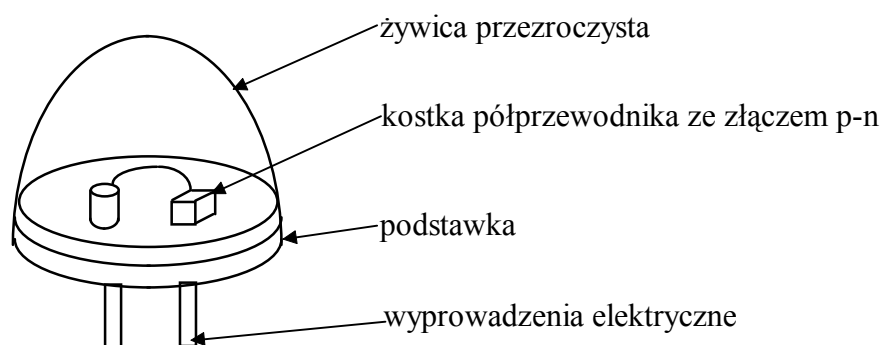
PRZYPIS

Diody elektroluminescencyjne (LED) działają w oparciu o zjawisko rekombinacji promienistej dziur i elektronów, zachodzące w spolaryzowanym w kierunku przewodzenia złączu p-n. Wynikiem rekombinacji promienistej w LED jest emisja niespójnego promieniowania elektromagnetycznego, co odróżnia LED od laserów złączowych, które emitują promieniowanie elektromagnetyczne spójne.

Jednym ze związków półprzewodnikowych wykorzystywanych do produkcji LED jest fosforek galu GaP domieszkowany odpowiednimi pierwiastkami w celu uzyskania pożądanej barwy emitowanego światła. I tak dodanie krzemu i węgla pozwala uzyskać barwę zieloną, a cynku i tlenu - barwę czerwoną.

Zewnętrzna wydajność kwantowa, określająca sprawność przemiany energii elektrycznej w energię promienistą dla świecących czerwono LED wykonanych z GaP może przekraczać 7%.

Przykładem często spotykanej w praktyce konstrukcji LED jest konstrukcja przedstawiona na rysunku 6.



Rys. 6. Konstrukcja diody LED

Prostopadłościenna kostka materiału półprzewodnikowego z wytworzonym w niej złączem p-n i naniesionym na nią po obu stronach złącza kontaktami omowymi jest przymocowana do typowej podstawki tranzystorowej tak, aby wyprowadzenia podstawki mogły być łatwo przylutowane do kontaktów kostki. Kostka półprzewodnikowa zanurzona jest w przezroczystej żywicy, co uodparnia diodę na wstrząsy oraz polepsza charakterystykę emisyjną diody poprzez zmniejszenie występujących w kostce odbić wewnętrznych. Obudowa diody może mieć również kształt zwierciadła parabolicznego, w ognisku którego umieszczone jest złącze, co umożliwia wytworzenie prawie równoległej wiązki światła.