

TECHNIKA JĄDROWA	NORMA BRANŻOWA	BN-72
	Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej	3411-14
	Spektrometryczne półprzewodnikowe krzemowe detektory promieniowania jonizującego	
	Metody badań parametrów podstawowych	Grupa katalogowa 1829

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są metody pomiarów podstawowych parametrów elektrycznych i radiometrycznych półprzewodnikowych spektrometrycznych krzemowych detektorów promieniowania jonizującego.

1.2. Zakres normy. Norma dotyczy metod pomiarów następujących parametrów:

- charakterystyka prądowa $I_d = f(V_d)$,
- maksymalne dopuszczalne napięcie zasilania V_{Br} ,
- charakterystyka pojemnościowa $C_d = f(V_d)$,
- rozdzielczość energetyczna ΔE_D ,
- składowa fizyczna rozdzielczości energetycznej ΔE_{DF} ,
- energetyczny równoważnik szumów ΔE_{DS} ,
- grubość warstwy martwej a ,
- grubość obszaru czynnego R_d ,
- powierzchnia obszaru czynnego S_d ,
- wydajność rejestracji całkowitej absorpcji promieniowania gamma o energii E_γ $\varepsilon_\varphi(E_\gamma)$,
- wydajność rejestracji promieniowania gamma o energii E_γ $\varepsilon_\rho(E_\gamma)$.

1.3. Symbole stosowane w normie

- a — grubość warstwy martwej detektora, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,
- C_c — pojemność sprzęgająca generator impulsów z wejściem przedwzmacniacza ładunkowego, pF,
- C_d — pojemność detektora, pF,
- C_z — pojemność równoważna zastępująca pojemność detektora, pF,
- d — gęstość, g/cm^3 ,
- dE/dx — strata energii przez cząstkę na jednostkę długości zasięgu, MeV/cm ,

- E_γ — energia promieniowania gamma, keV lub MeV,
- E_n — energia n -tej linii charakterystycznej promieniowania jonizującego, keV lub MeV,
- E_d — energia cząstki o zasięgu równym grubości obszaru czynnego detektora R_d , keV lub MeV,
- $\varepsilon_\varphi(E_\gamma)$ — wydajność rejestracji całkowitej absorpcji promieniowania gamma o energii E_γ , %,
- $\varepsilon_\rho(E_\gamma)$ — wydajność rejestracji promieniowania gamma o energii E_γ , %,
- I_d — prąd płynący przez detektor w kierunku zaporowym, A,
- N_n — numer kanału analizatora amplitudy odpowiadający położeniu maksimum n -tego piku,
- N_i — liczba impulsów w pikie na jednostkę czasu odpowiadająca całkowitej absorpcji promieniowania gamma w detektorze,
- N_w — liczba impulsów zliczana powyżej określonego poziomu dyskryminacji na jednostkę czasu,
- n_γ — liczba kwantów gamma padających na detektor na jednostkę czasu, 1/s,
- R_L — opór pracy detektora, Ω ,
- R_d — grubość obszaru czynnego detektora, μm lub $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,
- S_d — powierzchnia obszaru czynnego detektora, mm^2 ,
- τ_d — stała czasu różniczkowania we wzmacniaczu liniowym, μs ,
- τ_i — stała czasu całkowania we wzmacniaczu liniowym, μs ,

Instytut Badań Jądrowych — Zakład Jądrowej Elektroniki Przemysłowej
 Ustanowiona przez Pełnomocnika Rządu do Spraw Wykorzystania Energii Jądrowej dnia 29 czerwca 1972 r.
 jako norma obowiązująca w zakresie czynności określonych normą od dnia 1 kwietnia 1973 r.
 (Dz. Norm. i Miar nr 17/1972 poz. 35)

U_p	— amplituda impulsów z generatora, mV,
V_d	— napięcie polaryzacji detektora, V,
V_{Br}	— maksymalne dopuszczalne napięcie zasilania detektora, V,
ΔE_T	— rozdzielczość energetyczna spektrometru, keV,
ΔE_D	— rozdzielczość energetyczna detektora, keV,
ΔE_S	— energetyczny równoważnik szumów układu detektor-kanal wzmacniająca, keV,
ΔE_{DS}	— energetyczny równoważnik szumów detektora, keV,
ΔE_{SP}	— energetyczny równoważnik szumów kanału wzmacniającego, keV,
ΔE_{DF}	— składowa fizyczna rozdzielczości energetycznej detektora, keV,
ΔW	— odległość między pikami odpowiadającym padaniu cząstek na detektor pod kątem prostym i pikami odpowiadającym padaniu cząstek na detektor pod kątem 45° , keV,
ΔN	— szerokość połówkowa pików wyrażona w kanałach (FWHM).

1.4. Określenia

1.4.1. Rozdzielczość energetyczna spektrometru

ΔE_T — zmierzona na połowie wysokości szerokość pików (FWHM) rozkładu amplitudy sygnałów z detektora napromienianego monoenergetycznym promieniowaniem jonizującym.

ΔE_T zawiera trzy składowe:

- składową fizyczną rozdzielczości energetycznej detektora ΔE_{DF} ,
- energetyczny równoważnik szumów detektora ΔE_{DS} ,
- energetyczny równoważnik szumów kanału wzmacniającego ΔE_{SP}

$$(\Delta E_T)^2 = (\Delta E_{DF})^2 + (\Delta E_{DS})^2 + (\Delta E_{SP})^2$$

Składowa ΔE_{DF} oraz składowa ΔE_{DS} stanowią łącznie energetyczną zdolność rozdzielczą detektora:

$$(\Delta E_D)^2 = (\Delta E_{DF})^2 + (\Delta E_{DS})^2$$

1.4.2. Pozostałe określenia — wg PN-70/J-01100 i PN-70/J-01104.

1.5. Normy związane

PN-70/J-01100 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Ogólne nazwy i określenia

PN-70/J-01104 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Detektory promieniowania jonizującego. Nazwy i określenia

BN-71/3410-03 Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Wymagania środowiskowe i metody badań

2. METODY BADAŃ

2.1. **Ogólne warunki badań.** Badania należy przeprowadzać w znormalizowanych warunkach badań wg BN-71/3410-03. Ponadto w czasie wykonywania badań powinny być spełnione następujące warunki:

- badania należy rozpocząć nie wcześniej niż po upływie 1 godz od momentu włączenia aparatury,
- należy uwzględniać wpływ zewnętrznych zakłóceń elektrycznych,
- badania należy przeprowadzać bez dostępu światła do detektora,
- przy napromienianiu detektora cząstkami naładowanymi źródło promieniowania i detektor powinny znajdować się w próżni,
- badany detektor chłodzony powinien znajdować się w próżni,
- badania należy przeprowadzać przy ustalonej temperaturze detektora.

2.2. Zalecane źródła promieniowania

- źródła promieniowania gamma: ^{241}Am , ^{57}Co , ^{137}Cs , ThC'' , ^{60}Co ,
- źródła promieniowania beta: ^{207}Bi , ^{137}Cs , ^{109}Cd ,
- źródła promieniowania alfa: ^{241}Am , ^{210}Po , ^{239}Pu , $\text{Th}(C', C'', B)$.

2.3. Zalecana aparatura pomiarowa

- Przedwzmacniacz ładunkowy¹⁾.
- Źródło napięcia zasilania detektora o następujących parametrach:
 - polaryzacja napięcia dodatnia i ujemna,
 - błąd nastawienia napięcia nie większy niż 0,5%,
 - zakres regulacji napięcia od 0 do 1000 V,
 - prąd obciążenia nie mniejszy niż 100 μA ,
 - opór wyjściowy, nie większy niż 200 k Ω ,
 - napięcie tętnień nie większe niż 1 mV,
 - niestabilność temperaturowa nie większa niż 0,02%/°C,
 - niestabilność przy zmianach napięcia sieci nie większa niż 0,01%/V,
 - niestabilność długoczasowa nie większa niż 0,1%/dobę,

¹⁾ Odpowiadający warunkom według BN... Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej. Przedwzmacniacze ładunkowe dla detektorów półprzewodnikowych. Wymagania podstawowe i metody badań (w opracowaniu).

— stała czasu ustalania się napięcia nie mniejsza niż 0,2 s.

c) Generator impulsów o następujących parametrach:

— polaryzacja impulsu wyjściowego dodatnia i ujemna,

— amplituda impulsu wyjściowego od 0 do 1,0 V,

— nieliniowość całkowita nie większa niż 0,02% (dla wszystkich podzakresów amplitudy impulsu wyjściowego),

— niedokładność ustalania wartości amplitudy impulsu wyjściowego nie większa niż 0,5% (dla wszystkich amplitud większych od 1 mV),

— częstość powtarzania impulsów ustalana w zakresie od 50 do 1000 imp/s,

— czas narastania impulsu nie większy niż 20 ns,

— stała czasu opadania impulsu nie mniejsza niż 100 μ s,

— niestabilność temperaturowa nie większa niż 0,01%/°C,

— niestabilność długoczasowa nie większa niż 0,1% na dobę.

d) Wzmacniacz liniowy o następujących parametrach:

— polaryzacja impulsu wejściowego dodatnia i ujemna,

— współczynnik wzmocnienia regulowany od 20 do 1000 V/V,

— możliwość jednokrotnego różniczkowania i całkowania z następującymi wartościami stałych czasu (CR i RC): 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 μ s oraz możliwość pracy z odłączonymi układami formowania (CR nie mniejsze niż 1 ms),

— szumy własne odniesione do wejścia, przy pełnym wzmocnieniu i formowaniu $CR=RC=1,0 \mu$ s, nie większe niż 10μ V_{eff},

— nieliniowość całkowita nie większa niż 0,05%,

— niestabilność temperaturowa nie większa niż 0,01%/°C,

— niestabilność długoczasowa nie większa niż 0,1% na dobę.

e) Analizator amplitudy o następujących parametrach:

— liczba kanałów nie mniejsza niż 800,

— nieliniowość całkowita nie większa niż 0,1%.

Analizator powinien być wyposażony w wejściowy dyskryminator umożliwiający dyskryminację sygnałów szumowych bez przesunięcia zera analizatora.

f) Amperomierz o następujących parametrach:

— klasa nie gorsza niż 1,5,

— podzakresy pomiarowe od 10^{-4} do 10^{-11} A.

g) Woltomierz o następujących parametrach:

— klasa nie gorsza niż 1,5,

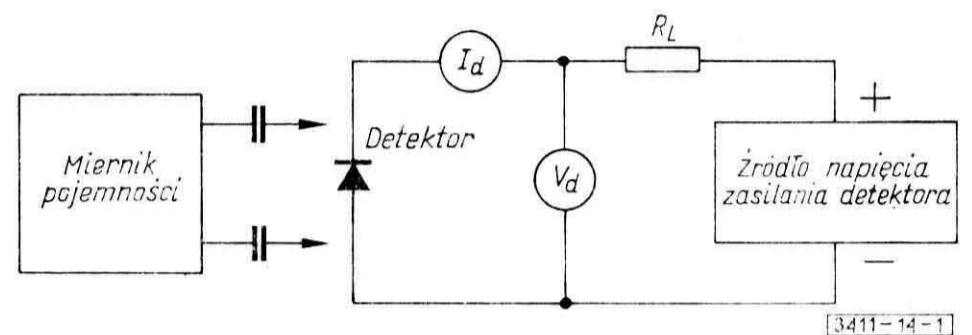
— podzakresy pomiarowe od 10^{-1} do 1 kV,

— opór nie mniejszy niż $10^7 \Omega$.

h) Miernik pojemności (np. mostek) pracujący z częstotliwościami od 10^5 do 10^6 Hz.

2.4. Opis badań

2.4.1. Wyznaczenie charakterystyki prądowej detektora $I_d = f(V_d)$. Układ pomiarowy podano na rys. 1.



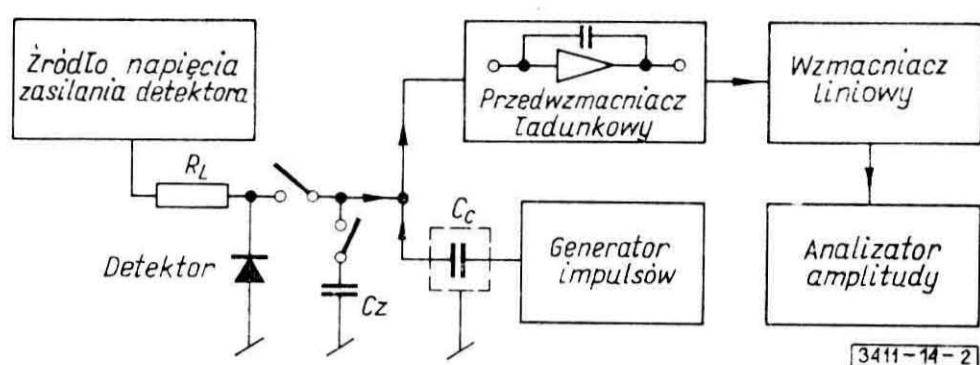
Rys. 1

Przy ustalonej temperaturze należy wykonać pomiar wartości prądu I_d dla wzrastających wartości napięcia polaryzacji detektora V_d , a następnie dla malejących wartości V_d . Przy każdej wartości V_d należy odczekać czas niezbędny do ustabilizowania się prądu I_d . Dopuszcza się niewielką histerezę między obiema zmierzonymi charakterystykami. W czasie pomiaru nie należy przekraczać maksymalnie dopuszczalnej wartości napięcia polaryzacji detektora V_{Br} .

2.4.2. Pomiar maksymalnego dopuszczalnego napięcia zasilania detektora V_{Br} należy wykonać wg normy przedmiotowej.

2.4.3. Wyznaczenie charakterystyki pojemnościowej detektora $C_d = f(V_d)$. Układ pomiarowy jak na rys. 1. Przy stałej temperaturze, za pomocą miernika pojemności pracującego z częstotliwościami od 10^5 do 10^6 Hz należy wykonać pomiary pojemności C_d przy wzrastających wartościach V_d . Dla każdej wartości V_d amplituda napięcia zmiennego nie powinna przekroczyć $0,1V_d$. Suma V_d i amplitudy napięcia zmiennego nie powinna przekroczyć V_{Br} .

2.4.4. Pomiar rozdzielczości energetycznej detektora E_D , składowej fizycznej rozdzielczości energetycznej zdolności rozdzielczej detektora E_{DF} , energetycznego równoważnika szumów detektora E_{DS} oraz wyznaczenie optymalnych warunków pracy detektora. Układ pomiarowy podano na rys. 2.

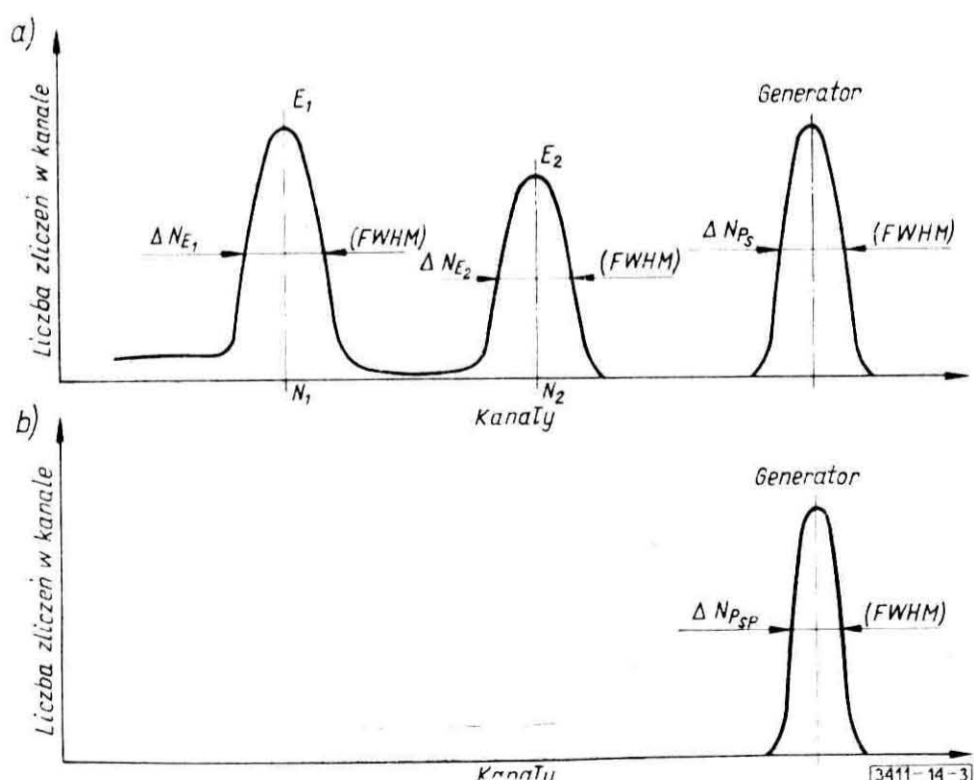


Rys. 2

Pomiar należy wykonać przy stałej temperaturze, przy określonej wartości napięcia zasilania detektora, przy określonych wartościach stałych czasu formowania we wzmacniaczu liniowym, dla określonego rodzaju promieniowania jonizującego o określonej energii i przy określonej geometrii ustawienia źródła promieniowania.

Detektor należy naświetlać źródłem promieniowania o znanych dwóch energiach emitowanych cząstek lub kolejno dwoma źródłami o znanych różnych energiach emitowanych cząstek. Liczba rejestrowanych przez detektor cząstek nie powinna przeciążać aparatury pomiarowej. Jednocześnie na wejście przedwzmacniacza ładunkowego przez pojemność C_c należy podać z generatora impulsy o takiej amplitudzie U_p , żeby ładunek wprowadzany na wejście przedwzmacniacza miał wartość bliską wartości ładunku wytworzonego w detektorze przez cząstkę mierzoną.

Odpowiadające ładunkom na wejściu wyjściowe impulsy napięciowe przedwzmacniacza ładunkowego są podawane na wejście wzmacniacza liniowego i dalej na wejście analizatora amplitudy. We wzmacniaczu liniowym należy ustawić jednakowe wartości stałych czasu różniczkowania τ_d i całkowania τ_i . Na rys. 3a pokazano typowe widmo rejestrowane przez analizator amplitudy.



Rys. 3

Na jego podstawie można obliczyć w kiloelektronowoltach wartość energetycznej zdolności rozdzielczej spektrometru dla danej energii

$$\Delta E_T = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \cdot N_{E_2}$$

oraz energetycznego równoważnika szumów układu detektor-kanal wzmacniający

$$\Delta E_S = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \cdot N_{P_S}$$

Następnie należy wykonać pomiar energetycznego równoważnika szumów kanału wzmacniającego ΔE_{SP} . W tym celu od wejścia przedwzmacniacza należy odłączyć detektor i na jego miejsce podłączyć pojemność C_z o wartości równej wartości pojemności detektora przy danej wartości napięcia polaryzacji detektora. Wartość amplitudy impulsu z generatora powinna być identyczna jak przy poprzednim pomiarze. Niezmienione powinny być również ustawienia w kanale wzmacniającym. Na podstawie widma zarejestrowanego przez analizator amplitudy (rys. 3b) należy obliczyć w kiloelektronowoltach energetyczny równoważnik szumów kanału wzmacniającego ze wzoru

$$\Delta E_{SP} = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \cdot N_{P_{SP}}$$

Następnie należy obliczyć w kiloelektronowoltach:

— energetyczną zdolność rozdzielczą detektora

$$\Delta E_D = \sqrt{(\Delta E_T)^2 - (\Delta E_{SP})^2}$$

— składową fizyczną rozdzielczości energetycznej detektora

$$\Delta E_{DF} = \sqrt{(\Delta E_T)^2 - (\Delta E_S)^2}$$

— energetyczny równoważnik szumów detektora

$$\Delta E_{DS} = \sqrt{(\Delta E_S)^2 - (\Delta E_{SP})^2}$$

W celu określenia optymalnych warunków pracy detektora przy rejestracji określonych cząstek o określonych energiach, przy użyciu określonego kanału wzmacniającego, należy dla różnych wartości napięć polaryzacji detektora V_d określić wartości ΔE_{DF} i ΔE_S . Dla każdej wartości V_d należy ponadto określić wartość ΔE_S w funkcji stałych czasu różniczkowania i całkowania $\tau_d = \tau_i$ we wzmacniaczu liniowym. Wyniki pomiarów należy przedstawić w formie krzywych zależności $\Delta E_{DF} = f(V_d)$ oraz $\Delta E_S = f(\tau_{d,i})$ przy różnych wartościach V_d .

Optymalne napięcie polaryzacji detektora V_d i optymalną stałą czasu formowania we wzmacniaczu liniowym $\tau_d = \tau_i$ dla danego rodzaju cząstek o danej energii należy wybrać na podstawie analizy powyższych zależności.

Zalecenia pomiarowe:

— jako C_c stosować kondensator (np. ceramiczny typu NPO) o wartości 1 lub 2 pF, napięciu pracy wyższym niż maksymalne napięcie polaryzacji detektora (np. 500, 1000 V) i oporności izolacji nie mniejszej niż 50 000 MΩ;

— jako C_z stosować kondensator (np. ceramiczny lub mikowy typu NPO) o oporności izolacji nie mniejszej niż 50 000 MΩ;

— we wzmacniaczu liniowym stosować stałe czasu $\tau_d = \tau_i = 1,0 \mu s$ (dla detektorów o dużym prądzie I_d i małej pojemności C_d można stosować mniejszą wartość np. 0,5 μs , a dla detektorów o małym prądzie I_d i dużej pojemności C_d można stosować większą wartość np. 2,0 μs). Przy określeniu optymalnych warunków pracy detektora zaleca się stosować $\tau_d = \tau_i = 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 \mu s$;

— szerokości połówkowe pików (FWHM) powinny wynosić nie mniej niż 8 kanałów;

— odległości między pikami powinny zapewnić całkowite rozdzielenie pików;

— pik od impulsów z generatora powinien znajdować się możliwie blisko powyżej pików od cząstek o mierzonej energii.

2.4.5. Wyznaczenie grubości warstwy martwej detektora a . Układ pomiarowy jak na rys. 2. Za pomocą źródła promieniowania o dwóch znanych energiach emitowanych cząstek należy wykalibrować analizator amplitudy w jednostkach energii (keV).

Detektor należy naświetlać skolimowaną wiązką monoenergetycznych cząstek naładowanych, padających na powierzchnię detektora pod kątem prostym. Kąt rozmycia wiązki powinien być nie większy niż 5° . Cząstki powinny mieć energię co najmniej taką, aby ich zasięg w krzemie był co najmniej dwa razy większy od grubości warstwy martwej. Za pomocą analizatora amplitudy rejestruje się widmo i określa położenie pików. Następnie należy ustalić kąt padania cząstek równy 45° , zarejestrować widmo i określić nowe położenie pików. Odległość między pikami ΔW należy wycenić w keV i należy obliczyć grubość warstwy martwej detektora.

Zasięg cząstki powinien być mniejszy od sumy grubości warstwy martwej i grubości obszaru czynnego detektora.

Metoda ma zastosowanie w przypadku detektorów typu dE/dx .

Grubość warstwy martwej detektora a oblicza się ze wzorów: w mikrometrach (μm)

$$a = 2,414 \cdot 10^4 \cdot \Delta W \left(\frac{dE}{dx} \right)^{-1}$$

w mikrogramach na centymetr kwadratowy ($\mu g/cm^2$)

$$a = 2,414 \cdot 10^6 \cdot \Delta W \left(\frac{1}{d} \cdot \frac{dE}{dx} \right)^{-1}$$

w których:

dE/dx — strata energii na jednostkę długości w materiale martwej warstwy dla określonej cząstki naładowanej (z tablic), MeV/cm,

d — gęstość materiału detektora przy danej temperaturze, g/cm^3 .

Zalecenia pomiarowe zgodne z 2.4.4.

2.4.6. Pomiar grubości obszaru czynnego detektora R_d . Układ pomiarowy jak na rys. 2. Pomiar należy wykonać przy określonej wartości V_d . Detektor naświetla się skolimowaną wiązką monoenergetycznych cząstek naładowanych o różnych energiach. Należy zmierzyć rozdzielczość energetyczną detektora ΔE_D przy różnych wartościach energii a następnie wyrazić w formie krzywej zależność $\Delta E_D = f(E_n)$. Poczynając od pewnej wartości energii wartość ΔE_D zaczyna szybko wzrastać.

Z krzywej wyznaczamy wartość energii E_d , od której począwszy zaczyna się ten proces. Zasięg w krzemie cząstki naładowanej odpowiadający odczytanej z tablic stracie energii E_d jest równy grubości objętości czynnej detektora R_d .

Zalecenia pomiarowe zgodne z 2.4.4.

2.4.7. Pomiar powierzchni obszaru czynnego detektora S_d . Powierzchnię obszaru czynnego detektora należy określić w mm^2 na podstawie pomiaru geometrycznego powierzchni okna wejściowego detektora, lub na podstawie znajomości geometrii procesów technologicznych zachodzących w czasie wytwarzania.

2.4.8. Pomiar wydajności rejestracji całkowitej absorpcji promieniowania gamma o energii E_γ ϵ_φ (E_γ). Układ pomiarowy jak na rys. 2. Pomiar należy wykonać przy określonej wartości V_d . W określonej odległości od detektora należy umieszczać kolejno źródła promieniowania gamma o znanych energiach E_γ i znanych aktywnościach. Odległość źródła od detektora powinna być co najmniej 10 razy większa od największego rozmiaru detektora. Detektor powinien być oddzielony od źródła możliwie cienkim oknem.

Dla każdego źródła osobno, na podstawie widma zarejestrowanego przez analizator amplitudy, należy obliczyć całkowitą liczbę zliczeń na jednostkę czasu w pikach całkowitej absorpcji N_i .

Na podstawie znajomości aktywności źródła i kąta bryłowego należy obliczyć liczbę kwantów

gamma padających na detektor na jednostkę czasu η_γ .

Wydajność rejestracji całkowitej absorpcji promieniowania gamma o energii E_γ oblicza się w procentach ze wzoru

$$\varepsilon_\varphi (E_\gamma) = \frac{N_i}{\eta_\gamma} \cdot 100$$

Zalecenia pomiarowe zgodnie z 2.4.4.

2.4.9. Pomiar wydajności rejestracji promieniowania gamma o energii E_γ $\varepsilon_\rho (E_\gamma)$. Należy postę-

pować podobnie jak w 2.4.8 z tym, że całkowitą liczbę impulsów na jednostkę czasu N_w należy obliczyć powyżej określonego poziomu dyskryminacji (bez tła własnego detektora).

Wydajność rejestracji promieniowania gamma o energii E_γ oblicza się w procentach ze wzoru

$$\varepsilon_\rho (E_\gamma) = \frac{N_w}{\eta_\gamma} \cdot 100$$

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE do BN-72/3411-14

IEC Publikacja 333 Test procedures for semiconductor detectors for ionizing radiation

RWPG РС 2906-70 Детекторы ионизирующих излучений. Детекторы полупроводниковые кремниевые с электрон-

но-дирочным переходом, спектрометрические. Методы испытаний — норма zgodna.

РС 2908-70 Изделия ядерного приборостроения. Источники напряжения питания спектрометрических полупроводниковых детекторов. Типы и основные параметры — норма zgodna.