

# Energieauflösungsvermögen von Halbleiterdetektoren

## Achtung:

- Die Arbeitsspannung des Detektors ist positiv, die maximale Arbeitsspannung beträgt 40 Volt
- Spannung darf nur angelegt werden, wenn der Druck in der Vakuumkammer kleiner als  $10^{-4}$  mbar ist.
- Die Detektorspannung ist stets langsam von Hand zu regeln (von 0 Volt aus hoch oder bis 0 Volt herab)
- Nie die volle Spannung zu- oder abschalten
- Der Detektor ist sehr lichtempfindlich, wenn er unter Spannung steht

## 1 Versuchsvorbereitung

Informieren Sie sich über die grundlegenden Eigenschaften von Halbleiterdetektoren (Physik des p-n-Übergangs, Ladungsträgererzeugung in der Sperrschicht, Ladungssammlung, Rauschen des Detektors) und über die wichtigsten Dinge der Signalverarbeitung (ladungsempfindliche Vorverstärker, Verstärkerrauschen, Vielkanalanalysatoren).

Informieren Sie sich über die Physik des  $\alpha$ -Zerfalls (Kernkräfte und Coulomb-Potential) und über Ionisationswirkungen und Energieverlust geladener Teilchen in Materie (Bethe-Bloch-Formel).

## 2 Detektoraufbau

### 2.1 Detektor und Präparat

Der hier verwendete Detektor ist ein p-n-Si-Oberflächensperrschichtdetektor, siehe Abb. 1. Die aktive Fläche beträgt  $50 \text{ mm}^2$ . Die Sperrschicht (auch Verarmungsschicht oder *depletion layer*) ist die für den Teilchennachweis empfindliche Schicht (*sensitive region*). Sie erstreckt sich bei diesem Detektor nur über einen Teil der Detektordicke (*partial depletion*), je nach Höhe der Detektorspannung.

Die Sperrschicht ist mit einer Goldelektrode von  $40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  Massenbelegung bedeckt. Diese Elektrode sorgt für eine dünne p-leitende Si-Schicht, der das übrige,

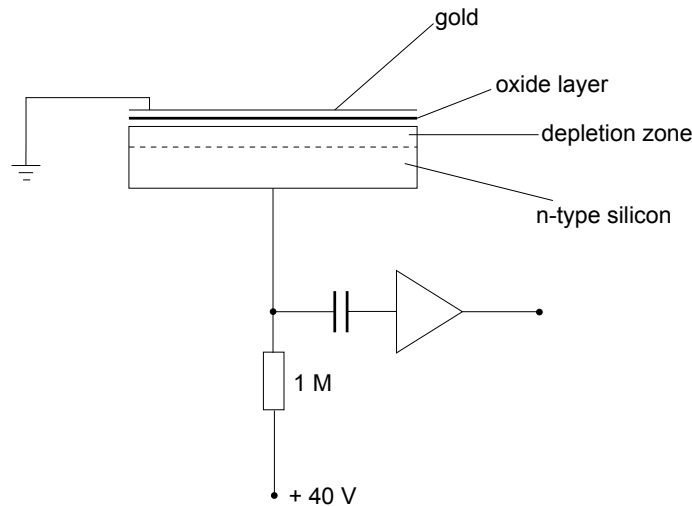


Abbildung 1: Oberflächensperrschichtdetektor

n-leitende Si gegenübersteht. Der spezifische Widerstand des n-leitenden Materials beträgt  $525 \, \Omega \, \text{cm}$ . Die rückwärtige Detektorseite ist mit Al kontaktiert ( $41 \, \mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

Der  $\alpha$  - Strahler ist  $\text{Am}^{241}$  ( $T_{1/2} = 461 \, \text{a}$ ). Die häufigsten Zerfälle sind die, mit folgenden Energien:

5.433 MeV zu 13.6 %  
5.476 MeV zu 84.2 %

## 2.2 Die Vakuumkammer

Der Detektor ist in einer Hochvakuumkammer untergebracht, um Energieverluste in Luft auszuschließen. Die Kammer wird mit einer luftgekühlten Öldiffusionspumpe, der eine 2-stufige Rotationsvakuumpumpe vorgeschaltet ist, auf  $10^{-5}$  bis  $10^{-6}$  mbar evakuiert.

Im Bereich von  $10^{-3}$  bis 10 mbar darf in keinem Fall Spannung am Detektor liegen, da er durch einsetzende Glimmentladung zerstört werden würde.

## 2.3 Die Elektronik

Der Detektor hat zur Vermeidung von Störsignaleinstreuungen keine Masseverbindung zur Vakuumkammer. Dem Detektor ist ein ladungsempfindlicher Vorverstärker (Ortec Model 121 Preamplifier) nachgeschaltet. Der Vorverstärker dient sowohl als Verbindung zum Detektor, als auch zum Einkoppeln von Testsignalen (Eingang TEST). Die Vorstufe hat daher zwei parallel geschaltete Eingänge. Im folgenden Hauptverstärker werden die Impulse so geformt, dass ein hohes zeitliches Auflösungsvermögen und ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis erreicht werden. Das Amplitudenspektrum wird mit einer Vielkanalanalysatorkarte aufgenommen und mit einem PC ausgelesen und weiterverarbeitet.

Zum Verfolgen aller Signale steht Ihnen während des Versuches ein Oszilloskop zur Verfügung.

## 2.4 Geräteeinstellungen und -bedienungen

**Präparat:** Der Abstand vom Detektor soll etwa 39 mm betragen; der Abstand ist so eingestellt und sollte nicht verändert werden.

**Detektor:** Maximale Arbeitsspannung + 40 Volt  
Empfohlene Spannung + 40 Volt  
Beachten Sie, dass die Anzeige der Arbeitsspannung gemäß Geräteaufdruck mit 2 zu multiplizieren ist.  
Druck in der Vakuumkammer  $< 10^{-4}$  mbar  
Detektorspannung niemals voll zu- oder abschalten !  
Stets langsam von Hand von 0 Volt aus oder bis 0 Volt herab regeln !

**Netzteil:** 0 - 40 Volt

**Hauptverstärker:** Der Hauptverstärker verfügt über einen COARSE GAIN, der die Verstärkung 4 haben soll und einem FINE GAIN. Die von Ihnen gewählte Feinverstärkung zu Beginn des Versuches sollten Sie während des Versuches nicht mehr ändern.

**Impulsgenerator:** Der Meßaufbau kommt ohne einen I/U Konverter, wie bei Versuchen dieser Art meist eingesetzt, aus. Die Ladungsumsetzung des Meßsignals erfolgt über einen ladungsempfindlichen Vorverstärker. Zum Kalibrieren der Meßsignale steht Ihnen ein äußerst präziser Impulsgenerator zur Verfügung, der die Impulsform eines Detektorsignals erzeugen kann. Die Form eines Detektorsignals entspricht in etwa einem abgerundeten Dreieck.

Der Impulsgenerator verfügt über eine ganze Reihe von Voreinstellungen, die Sie nicht verändern sollten, da diese die Grundform des Dreiecks erzeugen. Passen Sie die Pulsform über die Einstellung PULSE HEIGHT an.

Die fest eingestellten Parameter sind:

- INT OSC RELAY eingeschaltet
- INT REF VOLTAGE eingeschaltet
- POLARITY NEG eingeschaltet
- ATTENUATION FACTOR 2X
- Zeitskala: TIME 100 nsec

**Vielkanalanalysator (MCA):** Für die Bedienung des MCA-Software liegt eine Anleitung aus.

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Vorbereitung

Bitte überzeugen Sie sich, ob die Detektorspannung abgeschaltet ist und notieren Sie den vom Penningmanometer angezeigten Druck in der Vakuumkammer.

Die Alu-Blende dient der Abschirmung der  $\alpha$  - Strahlen außerhalb der Meßzeit um Strahlungsschäden am Detektor klein zu halten.

Bitte ziehen Sie das Kabel von Detektor und Vorverstärker ab. Überprüfen sie die oben genannten Geräteeinstellungen.

### 3.2 Impulsformen

Betrachten Sie zuerst die Form eines Detektorimpulses am Oszilloskop. Fahren Sie die Spannung herab und trennen Sie dann **spannungsfrei** die Verbindung von Detektor und Vorstufe. Fahren Sie dann anschließend die Spannung wieder hoch. Detektor und Vorverstärker (VV) besitzen dieselbe Spannungsversorgung. Geben Sie den Impuls des Impulsgenerators in den VV und betrachten Sie die Auswirkungen der NORMALIZE und PULSE HEIGHT Parameter auf die Impulsform am Oszilloskop.

Schalten Sie sich über ein T-Stück in die jeweiligen Impulsformen ein und beobachten sie die Formen auf dem Oszilloskop. Protokollieren Sie die Beobachtungen.

### 3.3 Kalibration des Testimpulses und der Kanal-Nummern in MeV

Schließen Sie den Detektor an und wählen Sie eine Arbeitsspannung von 40 V. Registrieren Sie das  $\alpha$ -Spektrum auf dem Bildschirm des MCA und stellen Sie die Kanallage des Hauptmaximums fest. Diese Energie ist bekannt.

Schließen Sie nun den Impulsgenerator an den VV. Stellen Sie über das Potentiometer PULSE HEIGHT den Testimpuls auf das Maximum des  $\alpha$  -Spektrums. Damit ist der Impulsgenerator bei Benutzung des Poti PULSE HEIGHT für Energien kalibriert.

Registrieren Sie die Testimpulsspektren bei 5.50 MeV und 5.40 MeV durch Einstellen des PULSE HEIGHT Poti. Aus den oben gemessenen Kanalhöhen erhalten Sie die Änderung der Kanallage pro 100 KeV Energieänderung. Protokollieren Sie die Ergebnisse.

### 3.4 Linearitätsprüfung

Überprüfen Sie die Gesamtlinearität der Elektronik. Verändern Sie in 0,5 MeV Schritten die Energie und messen Sie jeweils über 30 sec das Testimpulssignal. Protokollieren Sie die Ergebnisse und überprüfen die Linearität in Energie und Amplitude.

### 3.5 Rauschen und Impulshöhe bei kapazitiver Last

Der Rauschbeitrag der Elektronik hängt von der kapazitiven Last am Vorverstärkereingang ab und kann über die Halbwertsbreiten der Testimpulsmessungen bei unterschiedlicher Kapazität am Vorverstärkereingang bestimmt werden.

Kapazitive Last	Wert / pF
keine	0
Kabel (ohne Detektor)	20
Kabel + BNC-Kupplung + Kappe 1	20 + 75
Kabel + BNC-Kupplung + Kappe 2	20 + 225
Kabel + BNC-Kupplung + Kappe 3	20 + 300
Kabel + BNC-Kupplung + Kappe 4	20 + 750
Kabel + BNC-Kupplung + Kappe 5	20 + 1000
Kabel + BNC-Kupplung + Kappe 4+5	20 + 750 + 1000

Solange die Kanalbreite klein ist gegenüber der Halbwertsbreite, kann die Linienverbreiterung durch die Registrierung mit endlicher Kanalbreite vernachlässigt werden.

Mit Hilfe der ausgemessenen Peakmitten kann der Einfluß einer kapazitiven Last am Vorverstärkereingang auf die Ausgangsimpulshöhe untersucht werden.

Nehmen Sie zum Vergleich Testimpuls-Spektren für die Detektorspannungen 0 - 5 Volt (in 1 Volt-Schritten), sowie für 10, 20 und 40 Volt auf (mit angeschlossenem Detektor).

### 3.6 Energieauflösung

Nehmen Sie ein  $\alpha$ -Spektrum für die Detektorspannungen 0 - 5 Volt (in 1 Volt-Schritten), sowie für 10, 20 und 40 Volt auf.

Modifizieren Sie eventuell die Verstärkung.

Die Halbwertsbreiten können über die Eichung in keV ausgedrückt werden. Vergleichen Sie die Peakbreiten *Detektor + Elektronik* - Rauschen. Wie groß ist die durch den Teilchennachweis allein bedingte Halbwertsbreite?

Nehmen Sie zum Schluß ein mustergültiges  $\alpha$ -Spektrum auf.

## 4 Ergänzende Fragen

Zum Abschluß noch einige Fragen, die Sie bitte im Protokoll bearbeiten:

- Mit welcher Polung ist die Detektorspannung an die Elektroden des Detektors anzuschließen?
- Wie groß ist die Reichweite eines 5.5 MeV  $\alpha$ -Teilchens in Si?
- Wie dick ist die Verarmungszone bei einer Detektorspannung von  $U=40$  V?
- Wie groß ist dabei die Kapazität des Detektors?
- Wieviele Ladungen erzeugt ein 5.5 MeV  $\alpha$ -Teilchen im Si Detektor und wie groß ist der Spannungsimpuls am Vorverstärker?
- Wie groß ist der Energieverlust eines  $\alpha$ -Teilchens in der Goldelektrode an der Stirnseite des Detektors?

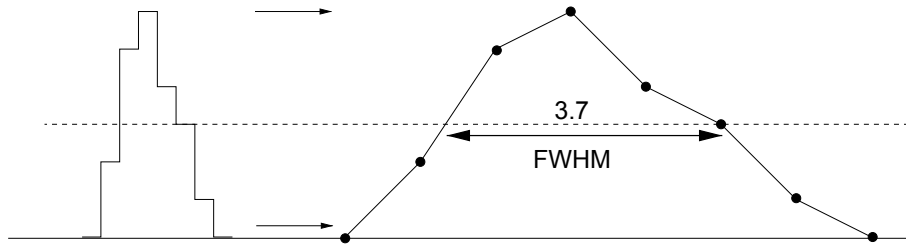


Abbildung 2: Bestimmung der Halbwertsbreite (FWHM)

## 5 Hinweis

In verschiedenen Teilen des Versuches sollen Halbwertsbreiten von Spektren ausgemessen werden. Diese sind zunächst nur als Zählraten als Funktion von Kanalnummern zu erhalten. Insbesondere für eine kleine Anzahl von beteiligten Kanälen ist dies zu ungenau. Gehen Sie bei der Auswertung daher gemäß der Abbildung 2 vor: Die Zählraten der einzelnen Kanäle werden als Punkte mit relativ großem Abstand (z. B. 10 mm) auf Millimeterpapier gezeichnet und durch einen Polygonzug verbunden. Die volle Breite auf halber Höhe (FWHM) ist ein Maß für die Energieauflösung.

## Literatur:

**William R. Leo:** Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments,  
Springer Verlag GmbH & Co.

**C. Kittel:** Einführung in die Festkörperphysik

**Ashcroft, N.W.:** Solid State Physics.

**Feynman, R. P., Leighton, R.B., Sands, M. L.:** Lectures on Physics III

**Tietze, U., Schenk, Ch.:** Halbleiter - Schaltungstechnik,  
Springer Verlag GmbH & Co.