

# Methoden zur Untersuchung der Oberfläche einer Ge(Li)-Diode

Autor(en): **Baldinger, E. / Haller, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **43 (1970)**

Heft 8

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-114196>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Methoden zur Untersuchung der Oberfläche einer Ge(Li)-Diode

von **E. Baldinger** und **E. Haller**

Institut für angewandte Physik der Universität Basel

(24. VI. 70)

*Summary.* Channel formation on the intrinsic surface of Ge(Li)-planar detectors has been investigated. With a simple model we can understand the influence of a channel on the capacity of a detector, on the shape of conversion electron lines and on the full energy peak efficiency below 200 keV. With three different methods we can quickly determine length and sign of the channel. Both, chemical preparation of the detector and adsorption of gases on a cooled detector at  $10^{-8}$  Torr can lead to a channel formation. The channel simulates an entrance window.

## 1. Einleitung

Im Zusammenhang mit der Bestimmung von Konversionskoeffizienten [1] haben wir darauf hingewiesen, dass der Oberflächenbehandlung von Ge(Li)-Dioden besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Es zeigt sich nämlich, dass auch bei «fensterloser» Einstrahlung der Konversionselektronen in die Intrinsiczone einer planaren Ge(Li)-Diode eine mehr oder weniger starke Ausschmierung der Elektronenlinien nach niedrigeren Energien auftreten kann. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Arbeit von C. R. Gruhn et al. [8] hingewiesen, in der stark asymmetrische Elektronenlinien zu erkennen sind. Die Erklärung der Autoren scheint uns nicht ausreichend, da sie die Ausschmierung lediglich mit der Streuung der Elektronen in der ca.  $6\ \mu\text{m}$  dicken Quellenbedeckung begründen.

Da die Auswertung stark asymmetrischer Linien grössere Fehler bei der Bestimmung der Konversionskoeffizienten verursacht, haben wir eine Oberflächenbehandlung verwendet, die einerseits eine stabile Detektoroberfläche bildet und andererseits zu symmetrischen Elektronenlinien führt. Eine schwache Oxydation während 2–4 Min. in 20%  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung bei  $20^\circ\text{C}$  unmittelbar nach dem Ätzen und vor dem Einbau erfüllt diese Forderungen ausreichend. Im weiteren soll das Restgas im Kryostaten möglichst wenig organische Substanzen,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  enthalten. Wird der Detektor nicht oxydiert, so gehen die anfänglich symmetrischen Elektronenlinien selbst bei relativ gutem Vakuum ( $\sim 10^{-8}$  Torr) im Laufe der Zeit in asymmetrische über, so dass in einigen Fällen nur noch eine Stufe anstelle einer Gausskurve im Spektrum zu erkennen ist. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, zu zeigen, dass die Deformation der Elektronenlinien durch eine Kanalbildung an der Detektoroberfläche erzeugt wird. Eine Kanalbildung, die gleichbedeutend einer Bandrandverbiegung ist, entsteht, wenn Ladungen auf die Oberfläche der *i*-Zone gelangen, zum Beispiel durch Adsorption von Restgasen oder Anlagerung von Ionen.

Die Kanalbildung wurde mit Hilfe dreier Methoden untersucht:

- Messung der Diodenkapazität  $C_d$  in Funktion der Diodensperrspannung  $U_d$ .
- Beeinflussung der Diodenkapazität und der Form von Konversionselektronenlinien durch ein elektrisches Feld senkrecht zur Oberfläche.
- Abtasten der Oberfläche mit Elektronen.

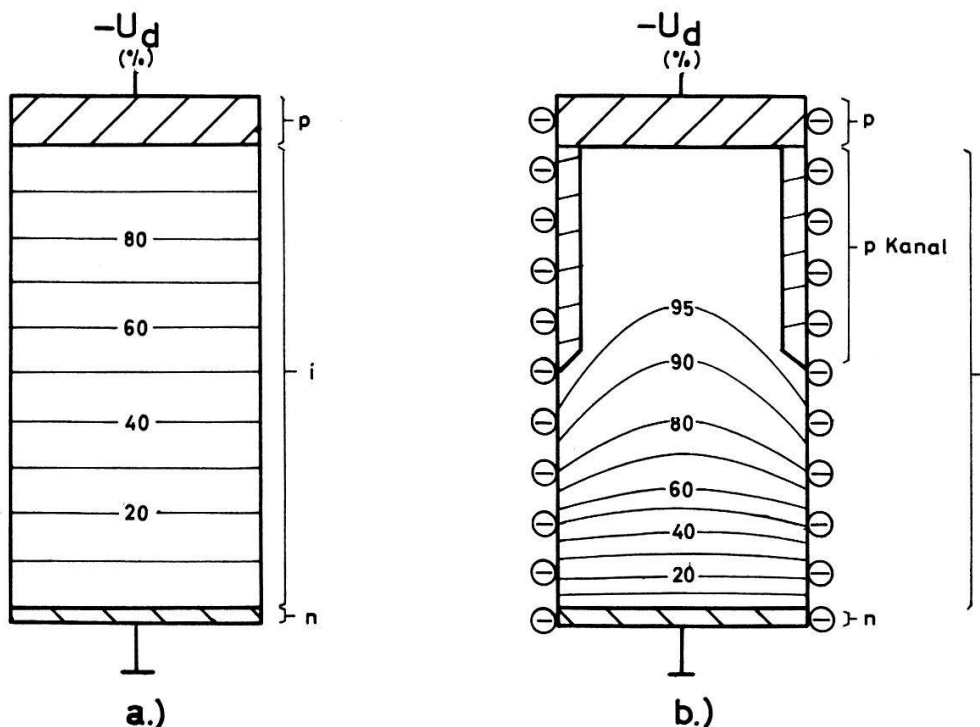
Die drei Methoden werden im folgenden erläutert. Der Sperrstrom kann zur Untersuchung der Oberfläche nicht verwendet werden, da er sich bei den erwähnten Experimenten zu wenig ändert ( $\Delta I_d < 1 \text{ pA}$ ).

Die Oberflächenuntersuchungen von J. Llacer [9] wurden mit einer Lichtprobe an Si(Li)-Detektoren auf Zimmertemperatur durchgeführt und zeigen einen Zusammenhang zwischen Oberflächensperrstrom und Rauschen.

## 2. Methoden zur Untersuchung der Oberfläche einer Ge(Li)-Planardiode

### 2.1. Modell einer Ge(Li)-Diode mit Oberflächenkanal

Sieht man davon ab, dass  $p$ -dotiertes Germanium mit Lithium nur bis auf eine Restkonzentration von der Größenordnung  $10^8$  Acceptoren/cm<sup>3</sup> kompensiert werden kann [2], so darf man annehmen, dass eine in Sperrichtung an eine Ge(Li)-Planardiode angelegte Spannung in der Intrinsiczone ein im wesentlichen konstantes elektrisches Feld erzeugt. Das Potential steigt im Inneren der Diode linear von der  $p$ - zur  $n$ -Seite an (Fig. 1a). Durch Ladungen auf der Oberfläche (Ionen, geladene Moleküle) wird die Potentialverteilung gestört. Zur Vereinfachung des Problems nehmen wir an, dass solche Ladungen homogen auf der ganzen Diodenoberfläche verteilt seien. In Figur 1b ist der Querschnitt einer Diode mit negativen Ladungen auf der Oberfläche dargestellt. Die elektrischen Feldlinien verlaufen nicht mehr parallel von der  $n$ - zur  $p$ -Zone



Figur 1

Querschnitt mit Potentiallinien durch das Modell einer Ge(Li)-Diode. a) ohne Oberflächenladung, b) mit negativer Oberflächenladung  $Q_k$  und  $p$ -Kanal.

wie im ungestörten Fall. Ein Teil der Feldlinien endet auf den Ladungen an der Oberfläche. Ist die Ladungsdichte gross genug, so wird von einer gewissen Stelle an das elektrische Feld längs der Oberfläche beinahe verschwinden. Es bildet sich eine mit Löchern angereicherte Zone, ein sogenannter Kanal aus. Die Feldstärke innerhalb des Kanals parallel zur Oberfläche ist praktisch null. Um ein Bild vom Verlauf der elektrischen Feldlinien und des Potentials zu erhalten, ist ein Analogiemodell mit Hilfe eines kohlebeschichteten, leitenden Papiers hergestellt worden. Obwohl unser Modell nur zweidimensional ist, erhält man ein anschauliches Bild in einem mittleren Querschnitt der Diode. Die  $n$ - bzw.  $p$ -Zone sowie der Kanal wurden durch Leitsilberkontakte hergestellt und stellen Potentiallinien dar. Einspeisen eines Stromes  $I$  in je 4 Randpunkte zwischen Kanalende und  $n$ -Zone simuliert die Ladungen auf der Oberfläche. Die Stromstärke  $I$  soll so gewählt werden, dass ein sehr kleiner Potentialabfall ( $0,01 U_0$ ) zwischen dem Kanalende und den unmittelbar benachbarten Einspeisepunkten auftritt.

Mit dem so gewonnenen Bild der Feldverteilung lässt sich sowohl die Änderung der Diodenkapazität in Funktion der Diodensperrspannung, als auch in Funktion eines senkrecht zur Oberfläche angelegten elektrischen Feldes qualitativ gut erklären. Ebenso kann man den Einfluss der Kanalbildung auf die Elektronen- und Gamma-spektroskopie deuten.

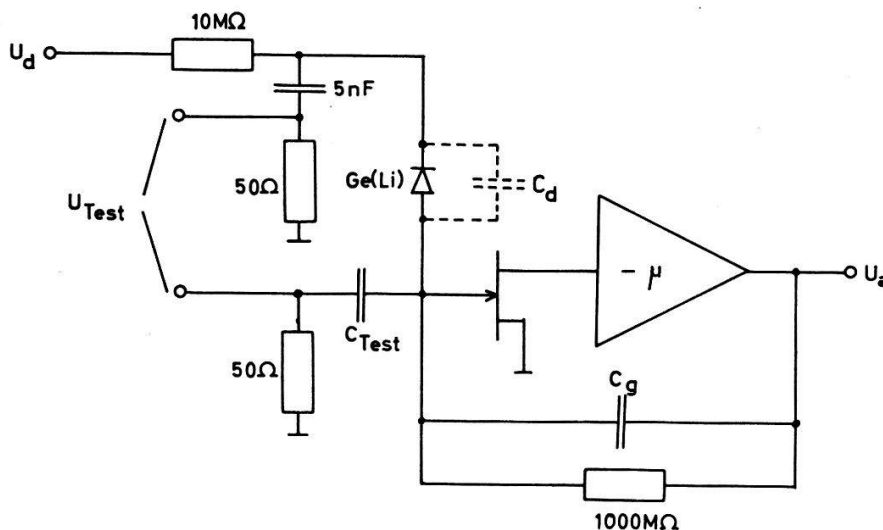
Die Kanalbildung hängt von der Endbehandlung des Detektors vor dem Einbau und den Betriebsbedingungen im Kryostaten ab. Durch Oxydation unserer Ge(Li)-Detektoren während 2–4 Min. in 20%  $H_2O_2$  bei  $20^\circ C$  kann deren Empfindlichkeit auf adsorbierte Restgase stark reduziert werden. Wird eine Diode nur geätzt und gewaschen, so sind unmittelbar nach Einbau und Abkühlen keine Oberflächenladungen festzustellen. Mit der Zeit bildet sich in unserem Kryostaten auch bei einem Restdruck von  $10^{-8}$  Torr ein starker  $p$ -Kanal aus. Wird eine solche Diode kurz (1 Min.) auf ca.  $0^\circ C$  aufgewärmt und danach wieder abgekühlt, so ist kein Kanal mehr beobachtbar. Nach einiger Zeit stellt er sich aber von neuem ein. Dieses Verhalten lässt darauf schliessen, dass adsorbierte Gase die Kanalbildung verursachen. Die Untersuchung der Restgaszusammensetzung in dem verwendeten Kryostaten zeigt, dass bei einem Totaldruck von  $10^{-8}$  Torr die Massen 16, 17, 18 und 28 vorherrschen. Man kann diese Massenzahlen  $CH_4^+/O_2^{++}$ ,  $OH^+$ ,  $H_2O^+$  und  $CO^+/N_2^+$  zuordnen. Da die Massen  $32(O_2^+)$  und  $14(N_2^{++})$  praktisch nicht beobachtbar sind und die Temperatur der Diode für die Kondensation von  $N_2$  und  $O_2$  zu hoch liegt, kann man annehmen, dass entweder  $H_2O$ ,  $CO$  oder  $CH_4$  für die Kanalbildung in Frage kommen. Aus der Literatur [3, 6, 7] ist bekannt, dass die Adsorption von  $H_2O$  auf Ge-Oberflächen zu einem  $n$ -Kanal führt. Die Untersuchungen über den Einfluss von Wasserdampf und anderen Gasen auf Ge-Oberflächen sind aber stets unter völlig andersartigen Bedingungen als sie bei einer gekühlten Ge(Li)-Diode vorliegen durchgeführt worden. Aus diesem Grund darf  $H_2O$  als Ursache für eine  $p$ -Kanalbildung nicht völlig ausgeschlossen werden. Da neben  $H_2O$  vor allem  $CO$  für den Druckanstieg beim Aufwärmen des Kühlfingers verantwortlich ist, kommt es ebenfalls als Ursache für die Kanalbildung in Frage. Dass  $CH_4$  einen Kanal verursachen könnte ist unwahrscheinlich, da sich dessen Partialdruck beim Aufwärmen nur wenig ändert. Im weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Ionengetterpumpe des Systems einen Einfluss auf die Ionenzusammensetzung hat.

## 2.2. Diodenkapazität $C_d$ in Funktion der Diodenspannung $U_d$

Mit der Anordnung nach Figur 2 wurde die Diodenkapazität  $C_d$  in Funktion der Sperrspannung gemessen. Mit einer bekannten Gammalinie, Testimpulsen und den dazugehörigen Ausgangsimpulsen  $U_a$  lassen sich  $C_{\text{Test}}$  und  $C_g$  absolut eichen ( $C_{\text{Test}} = 0,300 \pm 0,009$  pF;  $C_g = 0,320 \pm 0,010$  pF). Schickt man den gleichen Testimpuls über die Diode und über  $C_{\text{Test}}$  auf den ladungsempfindlichen Vorverstärker, so ist das Verhältnis der Ausgangsspannungen  $U_a$  gleich dem Verhältnis  $C_d/C_{\text{Test}}$ . Daraus folgt:

$$C_d = C_{\text{Test}} \cdot \frac{U_a(\text{Diode})}{U_a(\text{Test})} \quad (1)$$

Gestützt auf unser Modell einer Ge(Li)-Planardiode mit Kanal, erwarten wir eine deutliche Abhängigkeit  $C_d(U_d)$ . Bei zu kleiner Diodensperrspannung tritt zusätzlich eine Kapazitätsänderung in Funktion von  $U_d$  auf, weil das elektrische Feld wegen der Restdotierung in der kompensierten Zone ( $p$ -Typ) noch nicht bis zur  $p$ -Zone reicht (not fully depleted). Aus der Restdotierung ( $\sim 10^8$  Acceptoren/cm<sup>3</sup>) und aus der Gleichstromkennlinie, Figur 3, lässt sich abschätzen, dass bei der verwendeten Diode

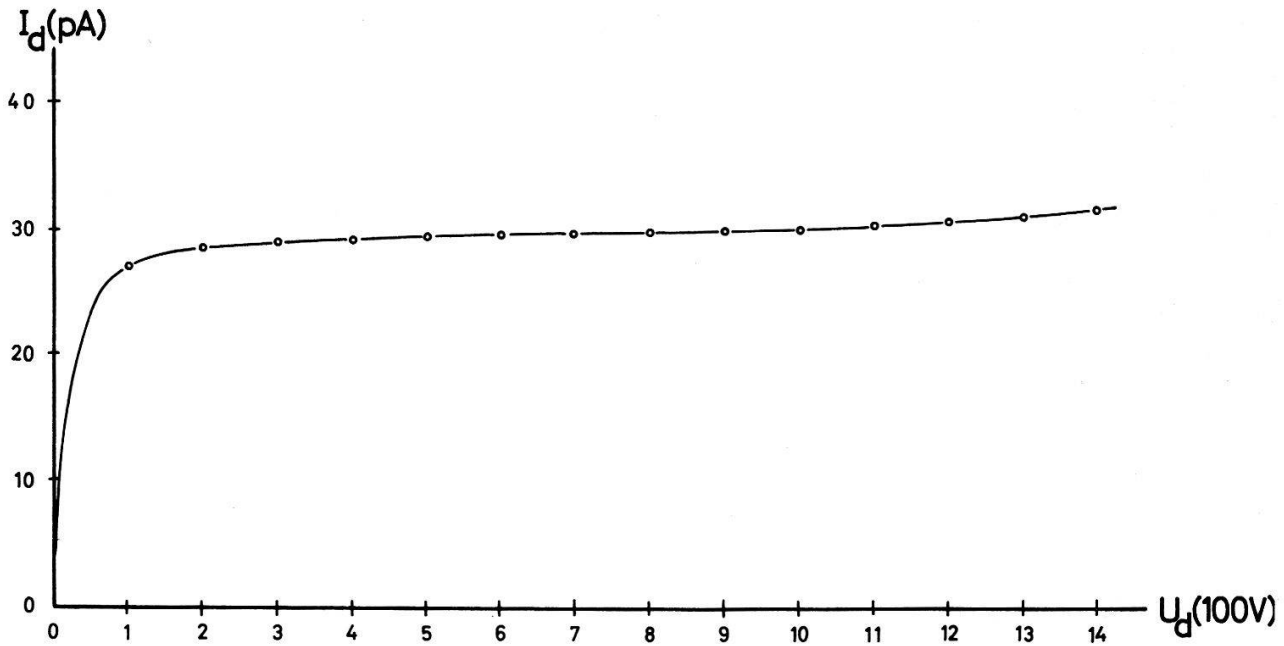


Figur 2

Anordnung zur Messung der Diodenkapazität  $C_d$  mit Testimpulsen.  $C_{\text{Test}}$  = Testimpulskapazität (0,300 pF),  $C_g$  = Gegenkopplungskapazität (0,320 pF).

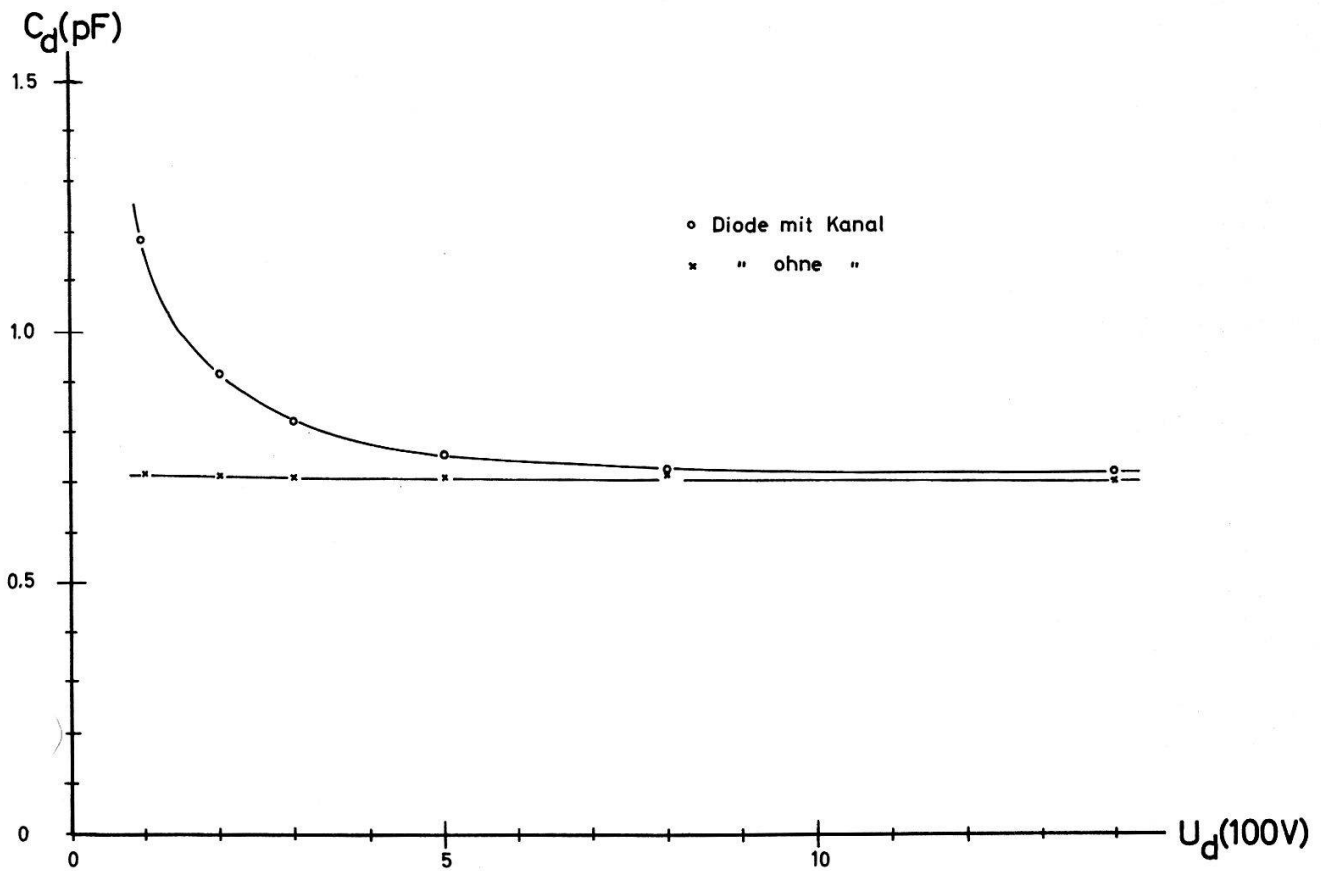
dieser Effekt ab 10 V/mm- $i$ -Zone vernachlässigbar ist. Die Abhängigkeit  $C_d(U_d)$  in Figur 4 derselben Diode mit und ohne Kanal bestätigt unsere Annahme. Aus der gleichen Figur erkennt man ferner, dass eine Änderung der Kapazität  $C_d$  in Funktion der Sperrspannung  $U_d$  nicht allein einem schlecht kompensierten Zählvolumen zugeschrieben werden darf.

Im Gegensatz zur Diodenkapazität ändert sich bei der Kanalbildung der Sperrstrom nur unwesentlich ( $\Delta I_d < 1$  pA) und kann deshalb nicht zur Beurteilung der Oberfläche benützt werden. Um eine korrekte Messung zu erhalten, muss man beachten, dass bei Erhöhen der Spannung  $U_d$  sich die neue Feldverteilung und damit das neue  $C_d$  schnell einstellt ( $\tau < 1$  sec). Wird die  $C_d(U_d)$ -Kennlinie von hohen nach niedrigeren Spannungen aufgenommen, so stellt sich die neue Feldverteilung etwa exponentiell mit einer Zeitkonstanten  $\tau$  zwischen 1 und 10 Min. ein. Dieser Unter-



Figur 3

$I_d/U_d$ -Kennlinie einer Ge(Li)-Diode in Sperrichtung bei  $77^\circ\text{K}$  mit und ohne Kanal. Diodenabmessungen: Fläche  $4,55 \times 7,65 \text{ mm}^2$ ,  $i$ -Zone = 8,0 mm.



Figur 4

$C_d/U_d$ -Abhängigkeit derselben Diode mit und ohne Kanal. Gleiche Diodenabmessungen wie in Figur 3.

schied lässt sich dadurch erklären, dass beim Erhöhen von  $U_d$  Ladungsträger aus dem Kanal abgesogen werden, was schnell erfolgen kann. Bei einer Verkleinerung von  $U_d$  hingegen müssen Ladungsträger zum Aufbau einer grösseren Anreicherungszone zugeführt werden. Dies erfolgt der geringen Feldstärke im Kanal und der kleinen Zahl freier Ladungsträger wegen langsamer.

Setzen wir für die Kapazität einer Ge(Li)-Planardiode

$$C_d = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{F}{i}, \quad (2)$$

$i$  = Dicke der  $i$ -Zone (8 mm),

$F$  = Fläche der Diode ( $7,65 \times 4,55 \text{ mm}^2$ ),

$\varepsilon$  = 16 (für Germanium),

so lässt sich die Kanallänge grob abschätzen, wenn wir vereinfachend annehmen, dass  $i$  in (2) sich um die Kanallänge  $l$  verkleinert.

$$C_d = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{F}{i - l}, \quad l = i - \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot F}{C_d}. \quad (3)$$

Formel (3) ergibt die untere Grenze für  $l$ .

Die Kapazitätsmessung hat den Vorteil, dass sie schnell und einfach durchzuführen ist. Unter der Voraussetzung, dass das Intrinsicvolumen gut kompensiert ist, ergibt sich die beschränkte Aussage, ob ein Kanal vorhanden ist oder nicht.

### 2.3. Feldeffekt

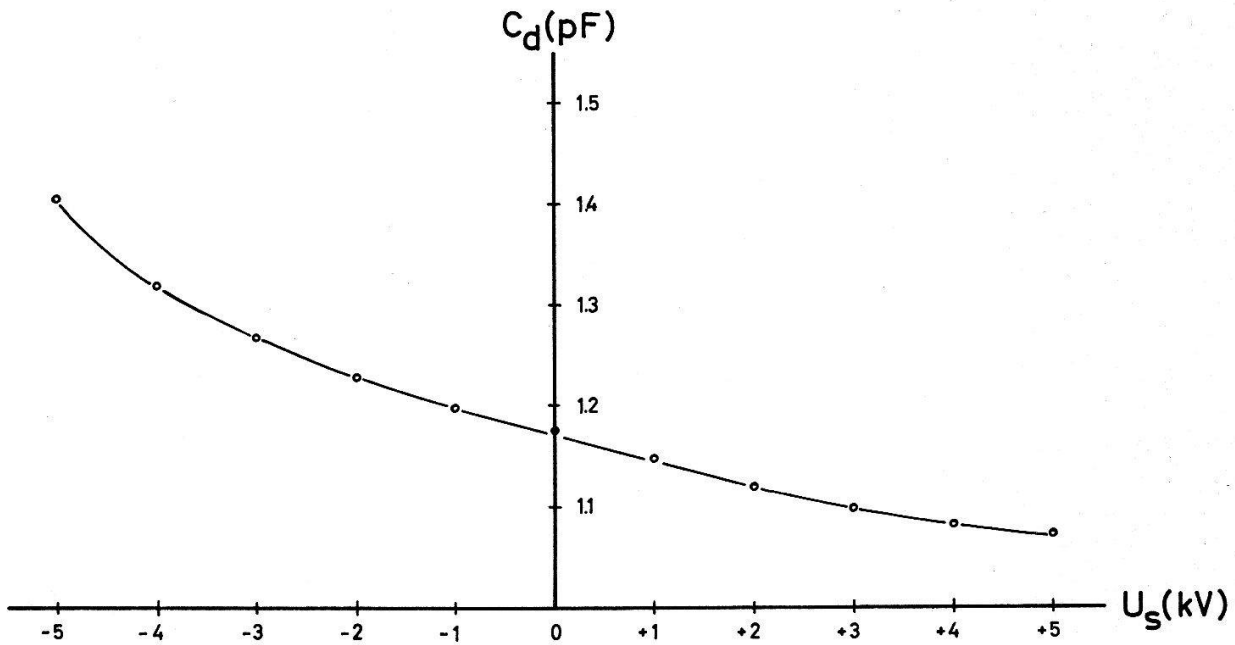
#### 2.3.1. Einfluss auf die Diodenkapazität

Unter 2.1 wird angenommen, dass ein Kanal an der Oberfläche der Diode durch Ladungen entsteht. Trifft dieses Modell zu, so muss die Kanallänge durch ein elektrisches Feld senkrecht zur Oberfläche beeinflusst werden können. Zu diesem Zweck haben wir parallel zur schmälere Seitenfläche des Detektors ( $4,55 \times 8,0 \text{ mm}^2$ ) im Abstand von 8 mm eine Metallplatte angebracht. Die Platte ist auf einer isolierten Durchführung im Kryostatendeckel montiert und kann auch als Quellenhalterung verwendet werden. Sie lässt sich von  $-6$  bis  $+6$  kV vorspannen. Das reicht aus, um gut messbare Kapazitätsänderungen zu erzeugen. Ebenso ist der Einfluss auf die Konversionselektronenlinien gut beobachtbar.

Je nach dem Vorzeichen der an der Feldplatte angelegten Spannung  $U_s$  wird der Einfluss der Oberflächenladung  $Q_k$  auf die Feldverteilung im Innern der Diode abgeschwächt oder verstärkt. Hat die Ladung auf der Feldplatte  $Q_s$  das entgegengesetzte Vorzeichen zur Ladung auf der Diodenoberfläche ( $Q_k$ ), so wird der Kanal verkürzt und die Kapazität verkleinert, im anderen Fall verlängert und die Kapazität vergrößert. Deshalb kann aus der Abhängigkeit  $C_d(U_s)$  direkt auf das Vorzeichen der Oberflächenladung geschlossen werden. Bei der Oberflächenbehandlung ohne Passivierung<sup>1)</sup> bildet sich auf der gekühlten Diode meist ein  $p$ -Kanal aus, der sich im Laufe

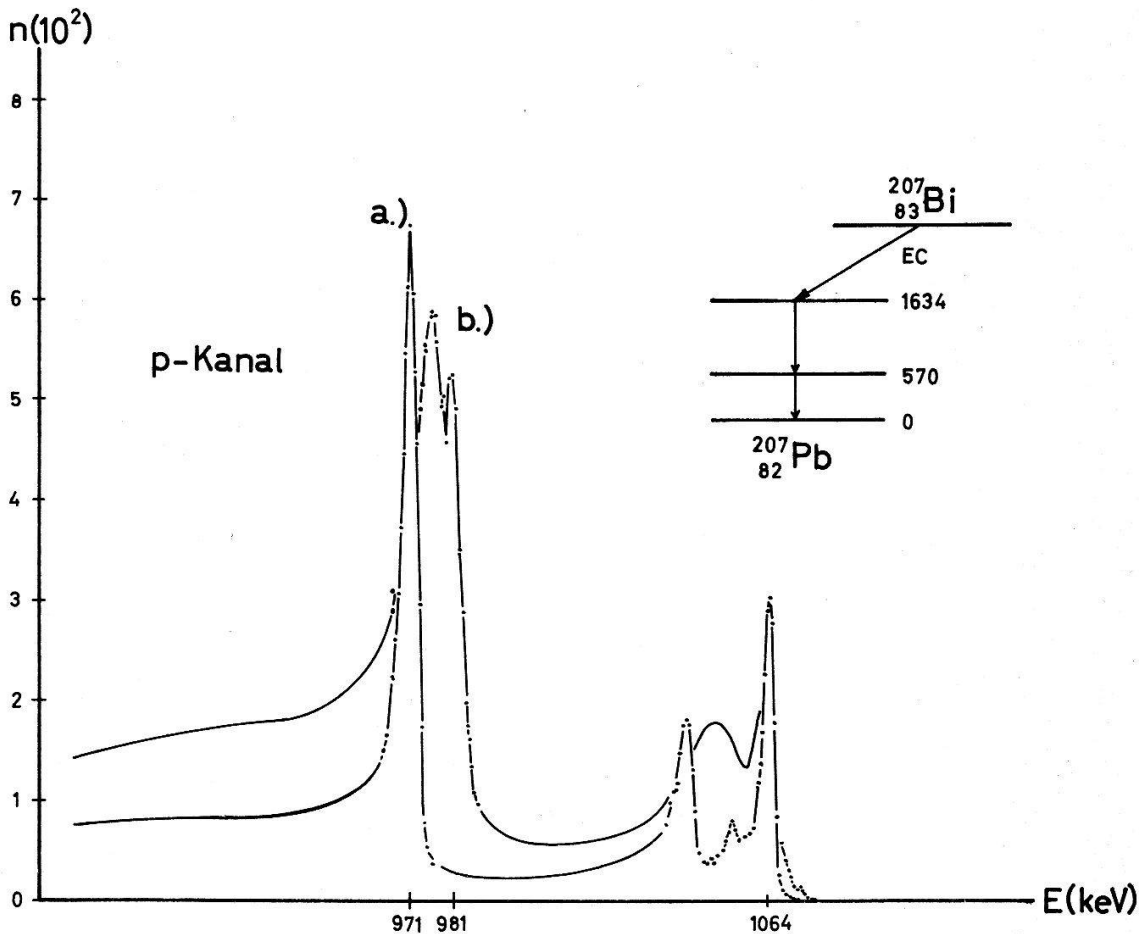
<sup>1)</sup> Für die Messung verwendete Oberflächenbehandlung: 1. Lappen der Oberfläche mit  $5 \mu\text{m}$ -Aluminiumoxyd. 2. Ätzen: je 3 Min. in einem  $\text{HNO}_3/\text{HF}$ -Gemisch (2:1 und 5:1) bei ca.  $15^\circ\text{C}$ . 3. Waschen: je 20 sec in 2 aufeinanderfolgenden Bädern und danach im fließenden, destillierten und desionisierten  $\text{H}_2\text{O}$ . 4. Trocknen im  $\text{N}_2$ -Strahl, Einbau, Redrift, Kühlen.

der Zeit verstärkt (Kapazitätsmessung nach Fig. 2). Figur 5 zeigt eine typische Abhängigkeit  $C_d(U_s)$  für einen  $p$ -Kanal ( $\text{sign}(Q_k) = \text{neg.}$ ).



Figur 5

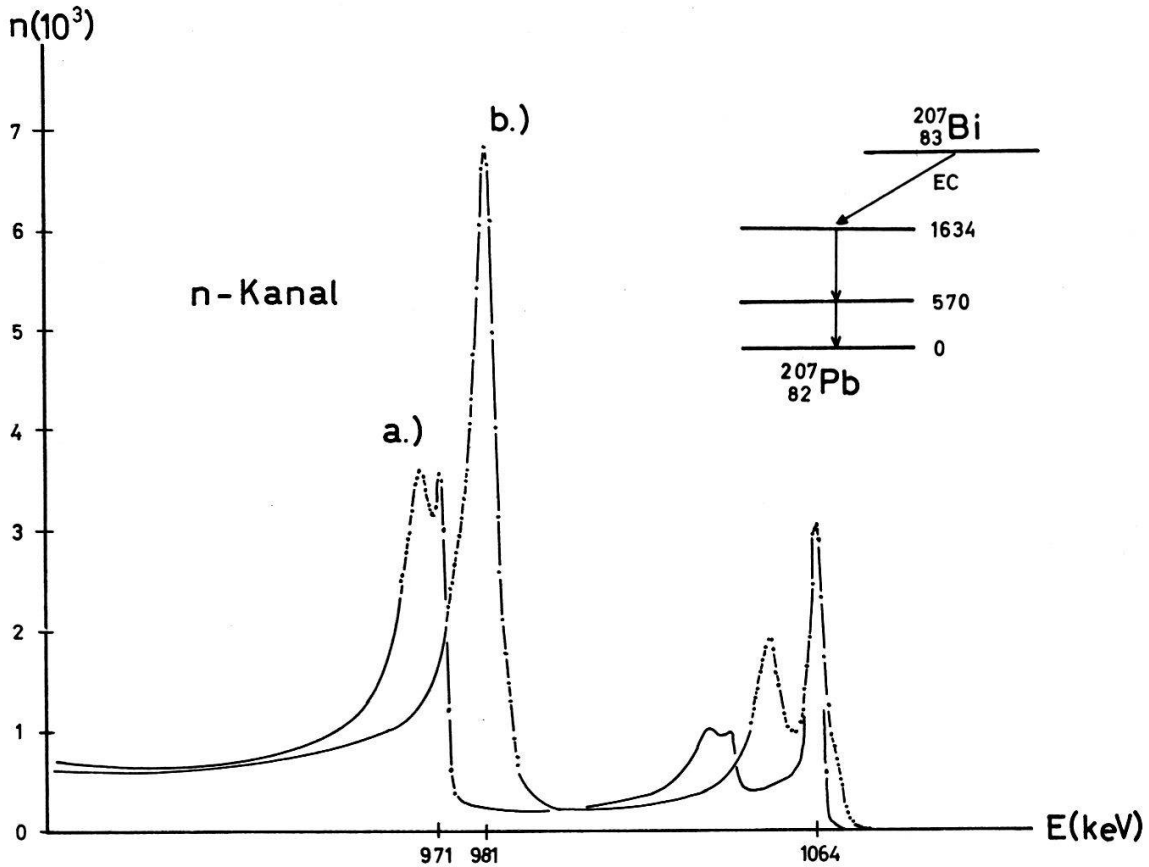
$C_d/U_s$ -Abhängigkeit einer Ge(Li)-Diode mit  $p$ -Kanal.  $U_s$  = Potential der einer Seite ( $4,55 \times 8,0 \text{ mm}^2$ ) der Diode gegenüber montierten Feldplatte. Gleiche Diodenabmessungen wie in Figur 3.



Figur 6

Konversionselektronen- und Gamaspektren des  $^{207}_{82}\text{Pb}$  (1064 keV)-Überganges. a)  $U_s = +5 \text{ kV}$  ergibt gute Elektronenlinien ( $\text{sign} Q_s \neq \text{sign} Q_k$ ), b)  $U_s = -5 \text{ kV}$  ergibt schlechte Elektronenlinien ( $\text{sign} Q_s = \text{sign} Q_k$ ) Ge(Li)-Diode mit  $p$ -Kanal.





Figur 7

Gleiche Spektren wie in Figur 6. Ge(Li)-Diode mit  $n$ -Kanal.

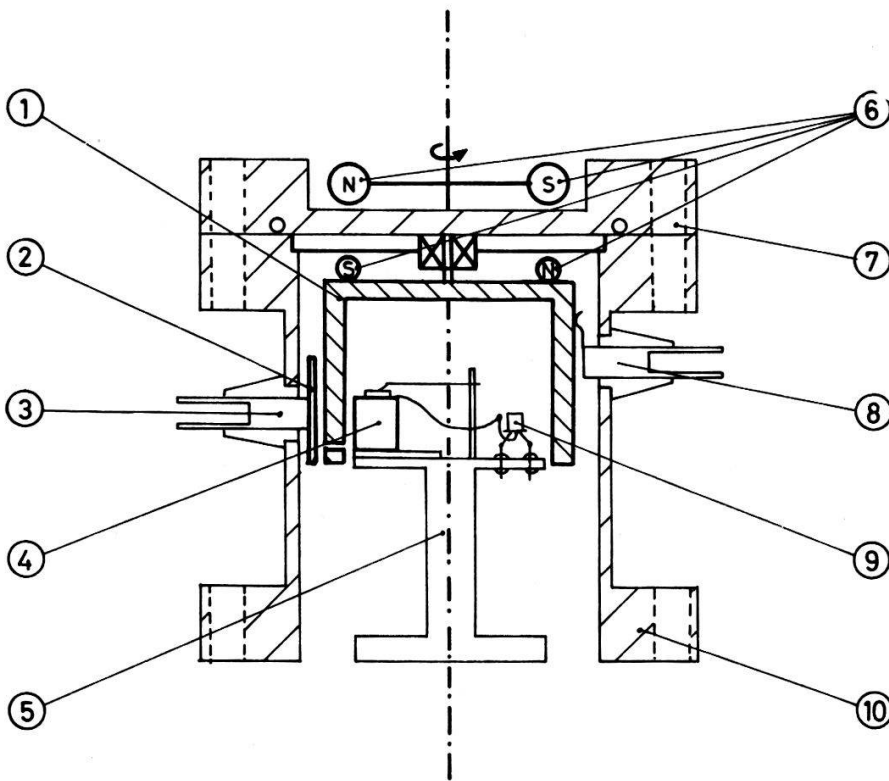
### 2.3.2. Linienform von Konversionselektronen

Eine weitere Möglichkeit den Oberflächenkanal zu untersuchen und dessen Vorzeichen zu bestimmen, liegt darin, dass sich die Form von Konversionselektronenlinien mit der Spannung  $U_s$  verändern lässt. Elektronen, die direkt in die Intrinsiczone eingestrahlt werden, ionisieren von der Oberfläche an ins Innere. Ist die Oberfläche ladungsfrei, so verlaufen alle Feldlinien parallel von der  $n$ - zur  $p$ -Zone, und die ganze von den Elektronen erzeugte Ladung wird gesammelt. Tritt ein Kanal auf, so werden Elektronen, die in der Kanalzone ionisieren, nicht bei der vollen Energie im Spektrum erscheinen. Wegen dem äusserst schwachen Feld treten ballistische und durch Rekombination verursachte Ladungsverluste auf. Treffen die Elektronen auf ein Gebiet hoher Feldstärke, ist eine totale Ladungssammlung gewährleistet. Im Zwischengebiet werden sich zunehmende Ladungsverluste ergeben. Die Linien, die in dieser Weise entstehen, sind gegen niedrigere Energien stark ausgeschmiert. Mit der Verkürzung bzw. Verlängerung des Kanals durch das elektrische Feld senkrecht zur Oberfläche lässt sich somit neben der Verschiebung der Elektronenlinien ( $E' = E - e \cdot U_s$ ) auch deren Form beeinflussen. Bei einer Verkürzung des Kanals ( $\text{sign } Q_s \neq \text{sign } Q_k$ ) werden die Linien schmaler und symmetrischer, bei einer Verlängerung ( $\text{sign } Q_s = \text{sign } Q_k$ ) werden sie breiter und asymmetrischer. Die Figuren 6 und 7 zeigen diesen Effekt für je eine Diode mit  $p$ - bzw.  $n$ -Kanal. In Extremfällen entsteht anstelle einer gaussförmigen Elektronenlinie nur noch eine Stufe.

### 2.4. Abtasten der Oberfläche

Gegenüber den Feldeffektmethoden bietet das Abtasten der Oberfläche mit Elektronen die Möglichkeit, Länge und Vorzeichen des Kanals zu bestimmen. Der apparative Aufwand dagegen ist grösser; Figur 8.

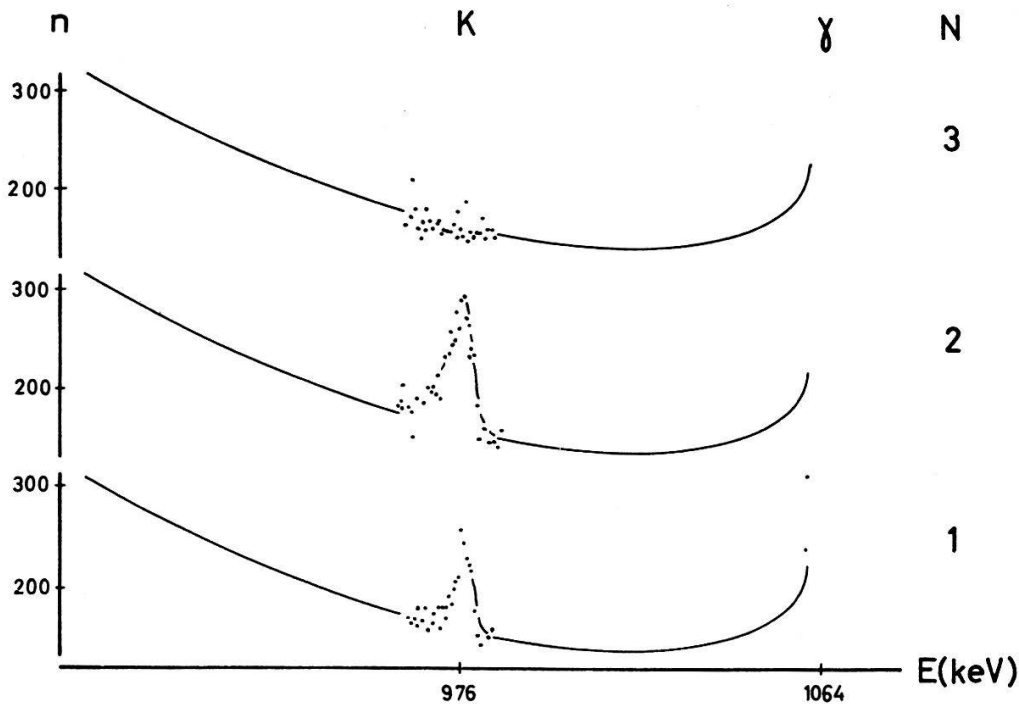
Den Hauptteil stellen die Schlitzblenden dar, die in einem drehbaren Aluminium-Zylinder eingefräst sind. Mit den Abständen Quelle-Zylinder von 0,2 mm und Zylinder-Diode von 0,5 mm wird eine 1 mm breite Zone der Diode bestrahlt. Auf dem Zylinderumfang befinden sich 10 Schlitzblenden in der Höhe um je 1 mm und radial um je 30° versetzt. Weiter ist eine Öffnung von  $6 \times 10 \text{ mm}^2$  angebracht, durch die eine Seitenfläche bestrahlt werden kann. Für reine  $\gamma$ -Messungen kann die Diode ganz von der Quelle abgeschirmt werden. Der Blendenzylinder ist mit einer Magnetkupplung von aussen drehbar und über eine Durchföhrung mit einem Goldgleitkontakt auf Spannungen von ca.  $-6$  bis  $+6 \text{ kV}$  vorspannbar. Aus den Spektren, die mit dieser Anordnung gewonnen werden, kann man unmittelbar auf die Länge und das Vorzeichen des Kanals schliessen.



Figur 8

Schematische Darstellung der Anordnung zur zonenweisen Abtastung einer Diodenoberfläche.

- 1 Aluminium-Zylinder mit Schlitzblenden  $0,6 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ , durch die Konversionselektronen von 2 auf eine Zone der Diode 4 gelangen können;
- 2 Quellenhalterung und  $^{207}_{83}\text{Bi}$ -Quelle, vorspannbar auf  $U_s = \pm 6 \text{ kV}$ ;
- 3 Durchföhrung zur Halterung der Quelle;
- 4 Ge(Li)-Diode, *n*-Seite gegen Kühlfinger 5, *p*-Seite am FET-Gate;
- 5 Cu-Kühlfinger;
- 6 4 Stabmagnete bilden die Kupplung zur Drehung von 1;
- 7 Aluminium Deckel;
- 8 Durchföhrung zur Kontaktierung von 1;
- 9 gekühlter Feldeffekt-Transistor;
- 10 Aluminiumgehäuse.



Figur 9

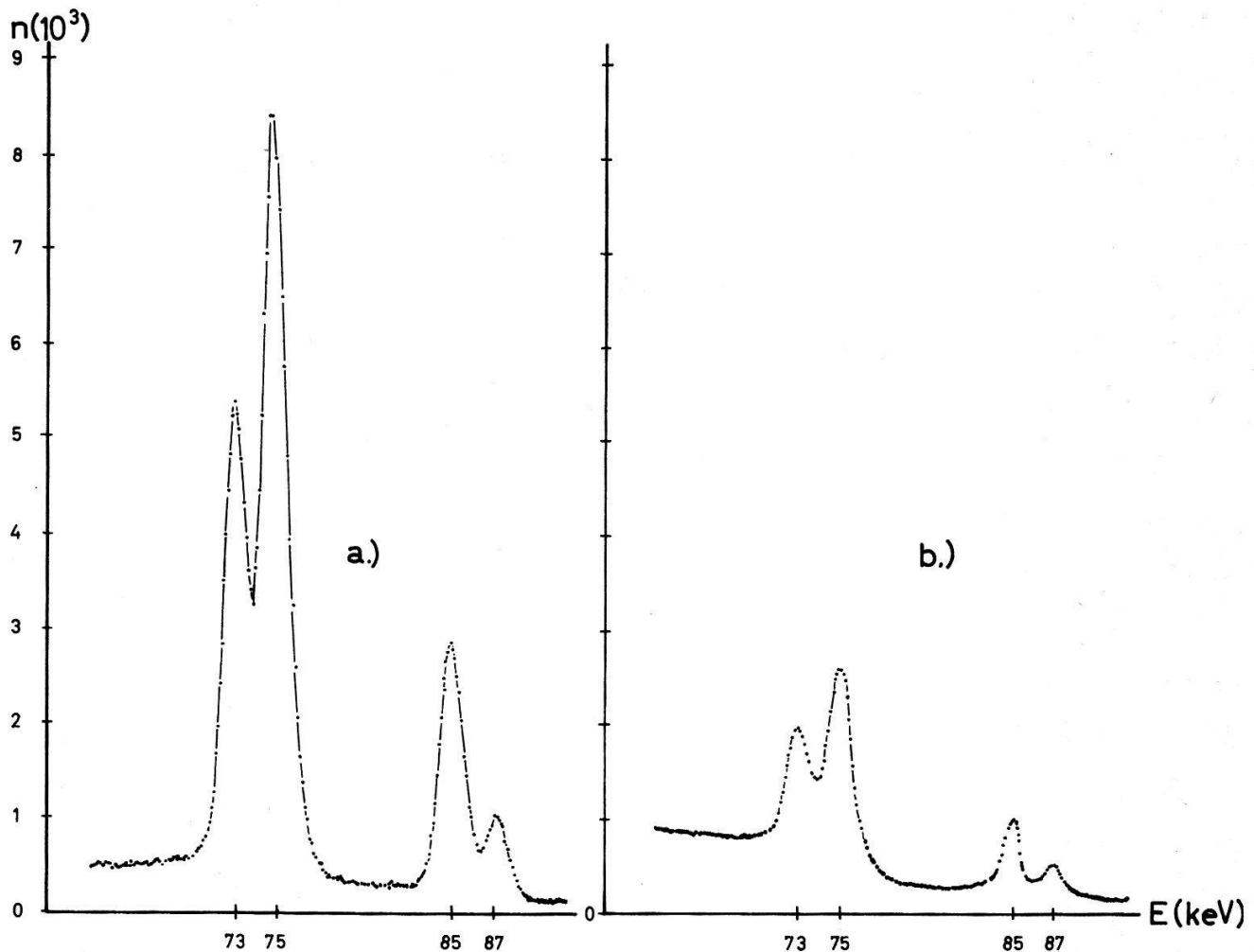
Teilspektren des 1064 keV- $^{207}\text{Pb}$ -Überganges mit der Anordnung nach Figur 8 registriert.  $n$  = Anzahl Impulse pro Kanal,  $K$  =  $K$ -Konversionselektronenlinie,  $\gamma$  = Photolinie,  $N$  = Nummer des Schlitzes, durch den das nebenstehende Spektrum registriert wurde (vom  $n$ -Kontakt der Diode her gezählt). Diodenabmessungen wie in Figur 3.

Besteht z. B. ein  $p$ -Kanal, so erscheinen in den Spektren von der  $p$ -Zone her längs des Kanals keine Elektronenlinien. Von Kanalende bis zur  $n$ -Zone können Elektronen registriert werden.

Bei dieser Messmethode ergeben sich Schwierigkeiten in bezug auf die Quellenherstellung. Die Quelle soll homogen, dünn und stark sein. Durch Elektrolyse von  $^{207}\text{BiCl}$  in 1n-HCl-Lösung auf ein vergoldetes Messingblech konnten Quellen mit genügender Homogenität hergestellt werden. Bei der erreichten Quellstärke ( $\sim 1 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) müssen wir mindestens 1 h pro Schlitz registrieren. Kurzfristige Messungen unmittelbar nach Einbau der Diode sind somit nicht möglich. In Figur 9 ist eine Serie von Spektren, gemessen mit einer Diode von 8 mm  $i$ -Zone und 6 mm langem  $p$ -Kanal dargestellt. Nur die beiden der  $n$ -Zone benachbarten Schlitz 1 und 2 zeigen Spektren mit Elektronenlinien.

### 2.5. Einfluss des Kanals auf die Gamma-Spektroskopie

Der Einfluss der Kanalbildung auf die Registrierung von Gammas ist stark energieabhängig. Bei Energien  $E_\gamma > 1 \text{ MeV}$  herrscht bei kleinen Dioden (Zählvolumen  $\sim 1 \text{ cm}^3$ ) im ganzen Zählvolumen der gleiche Gammafluss. Für Gammas, die nahe der Oberfläche registriert werden, verursacht der Kanal Ladungsverluste zwischen 0 und 100%. Dies führt im Spektrum zu einer Erhöhung des Untergrundes unterhalb jeder Gammalinie. Auch nimmt die Ansprechwahrscheinlichkeit für Gammas ab. Dieser Effekt ist bei hohen Energien klein und muss nur bei präziser



Figur 10

Pb-K-Röntgenspektren. a) mit einer Ge(Li)-Diode ohne Kanal, b) mit derselben Diode mit starkem Kanal registriert. In beiden Fällen wurden die Röntgenquanten von der eingebauten Quelle direkt in die *i*-Zone der Diode eingestrahlt.

Bestimmung der Linienintensität berücksichtigt werden. Grösser wird der Einfluss bei Energien  $E_\gamma < 100$  keV. Figur 10 zeigt zwei Spektren der Pb-K-Röntgenstrahlung, die mit derselben Diode mit und ohne Kanal registriert wurden. Mit Kanal ist die Linienhöhe um den Faktor 3,2 kleiner und der Untergrund unterhalb der  $K\alpha_2$ -Linie um den Faktor 2,0 grösser als ohne Kanal. Die Linienform bleibt, wenn man von der Untergrunderhöhung absieht, gut gaussförmig im Gegensatz zu hochenergetischen Elektronenlinien. Die Ansprechwahrscheinlichkeit (full energy peak efficiency) verändert sich, wie man aus Figur 10 erkennen kann, stark. Die Abnahme der Ansprechwahrscheinlichkeit unterhalb 100 keV wird meistens absorbierendem Material zwischen Diode und Quelle zugeschrieben. Wie man sieht, täuscht die Kanalbildung ein Fenster vor, dessen Dicke sich im Verlauf der Zeit ändern kann. Wenn die Intensität der Strahlung von Interesse ist, soll aus diesem Grund besonders bei kleinen Dioden der Verlauf der Ansprechwahrscheinlichkeit öfters überprüft werden.

Dem Schweizerischen Nationalfonds danken wir für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

## LITERATUR

- [1] E. BALDINGER und E. HALLER, *Messung von Konversionskoeffizienten mit einer Ge(Li)-Diode*, *Helv. phys. Acta* **42**, 949 (1969).
- [2] F. BUSCHOR und E. BALDINGER, *Untersuchungen über die Trägerrekombination in Intrinsic-Ge bei tiefen Temperaturen*, *Helv. phys. Acta* **43**, 133 (1970).
- [3] A. MANY, Y. GOLDSTEIN and N. B. GROVER, *Semiconductor Surfaces* (North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1965).
- [4] J. M. MCKENZIE and R. C. DE WIT, *Surface Treatment of Semiconductor Detectors*, *IEEE Nucl. Sci. NS* **15**, Nr. 1, 444 (1968).
- [5] R. C. DE WIT and J. M. MCKENZIE, *Surface Preparation to Obtain Good I-V Characteristics on Germanium Lithium Diodes*, *IEEE Nucl. Sci. NS* **15**, Nr. 3, 352 (1968).
- [6] W. H. BRATTAIN and J. BARDEEN, *Surface Properties of Germanium*, *Bell. S. techn. J.* **32**, 1 (1953).
- [7] J. TORKEL WALLMARK and R. R. JOHNSON, *Influence of Hydration-Dehydration of the Germanium Oxide Layer on the Characteristics of P-N-P Transistors*, *RCA Rev.* **18**, Nr. 4, 512 (1957).
- [8] C. R. GRUHN et al., *A Single Ge(Li) Conversion-Coefficient Spectrometer*, *Nucl. Instr. Meth.* **75**, 109 (1969).
- [9] J. LLACER, *Geometric Control of Surface Leakage Current and Noise in Lithium Drifted Silicon Radiation Detectors*, *IEEE Nucl. Sci. NS* **13**, Nr. 1, 93 (1966).