

**NACHWEIS IONISIERENDER TEILCHEN IN DETEKTOREN MIT
FLÜSSIGEM TETRAMETHYLSILAN**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines

DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

STEFAN OCHSENBEIN

Dipl. phys. ETH

geboren am 21. April 1957

von Etziken SO

angenommen auf Antrag von

Professor Dr. J-P. Blaser

Referent

Privatdozent Dr. W.F. Schmidt

Korreferent

Dr. J. Egger

Korreferent

ABSTRACT

Properties of the liquid tetramethylsilane (TMS) and their influence on the operation of ionisation detectors based on TMS have been investigated.

An efficient purification method for liquid TMS using vacuum distillation and molecular sieves has been developed. An electron lifetime with respect to electron attachment to impurities of 450 ± 80 microseconds was achieved.

In order to approach intrinsic limitations in the determination of electron lifetimes in small test cells, an extended method of pulse shape analysis has been developed. The method is based on the multiple trapping model of charge transport in amorphous semiconductors. By including electron diffusion in the analysis, one can go to lower measuring voltages and therefore reduce the detection limit for impurities. The method is able to measure the content of impurities which can release trapped electrons into the free state.

Charge carrier yields $G_{fi}(E)$ of ionizing electrons, protons and alpha particles have been measured up to an electrical field strength E of 28.3 kV/cm. The extrapolated zero field electron yield for 976 keV electrons was determined to be:

$$G_{fi}(E=0) = 0.71 \pm 10 \% \text{ ion pairs/100 eV}$$

The confidence interval results from the uncertainty of the charge calibration. The field dependence of the electron yield was compared with Onsager's theory of geminate recombination. For the slope to intercept ratio an upper limit could be determined. It lies at 84 % of the value given by theory.

The best energy resolution for 976 keV electrons achieved was 7.8 % fwhm at 17.4 kV/cm.

Electron yields of protons with 14.2 MeV and 2.7 MeV kinetic energy were measured in a geometry where the electric field was perpendicular to the axis of the ionisation track. The results can be represented by a Birks model in the form:

$$G_{fi}(E) = G_{fi}^{\circ}(E)/(1 + K_B(E) \cdot dE_{kin}/dx)$$

For $G_{fi}^{\circ}(E)$, the yield in the limit of zero ionisation density, the value used for electrons could be taken. Depending on the field strength, $G_{fi}^{\circ}(E)$ was assumed to lie 11 % (at 1.7 kV/cm) to 4 % (at 28.3 kV/cm) above the electron yield for 976 keV electrons.

The electron yields of Polonium-210 alpha particles lies between 10 % and 25 %

above the Birks fits obtained from electron and proton data.

The field dependence of the Birks constant in the investigated range from 1.7 kV/cm to 28.3 kV/cm can be given as:

$$K_B(E) = 0.08 \cdot E^{-0.305} \text{ [cm/MeV]} \quad (E \text{ in [kV/cm]})$$

ZUSAMMENFASSUNG

Eigenschaften der Flüssigkeit Tetramethylsilan (TMS) wurden untersucht im Hinblick auf die Verwendung als aktives Medium in Ionisationsdetektoren.

Eine effiziente Reinigungsmethode für die Flüssigkeit TMS auf der Basis von Vakuum-Destillation und Molekularsieben wurde entwickelt. Die Elektronen-Lebenszeit bezüglich Anlagerung an Verunreinigungen von 450 ± 80 Mikrosekunden wurde erreicht.

Um prinzipiellen Grenzen der Bestimmung der Elektronen-Lebenszeit in kleinen Testzellen näher zu kommen, wurde eine erweiterte Messmethode entwickelt. Die Methode basiert auf dem Multiple-Trapping-Modell des Ladungstransports in amorphen Halbleitern. Die Berücksichtigung der Diffusion der Elektronen ermöglicht die Verwendung kleinerer Messspannungen und erniedrigt damit die Nachweisgrenze für Verunreinigungen. Die Methode erlaubt ausserdem einen Nachweis von Verunreinigungen, welche angelagerte Elektronen wieder in den freien Zustand entlassen können.

Die Ladungsträgerausbeuten $G_{fi}(E)$ von ionisierenden Elektronen, Protonen und Alphateilchen in TMS wurde gemessen bis zu einer elektrischen Feldstärke E von 28.3 kV/cm. Die extrapolierte Nullfeld Ausbeute für 976 keV-Elektronen wurde bestimmt zu:

$$G_{fi}(E=0) = 0.71 \pm 10 \% \text{ Ionenpaare}/100 \text{ eV}$$

Der Toleranzbereich resultiert aus der Unsicherheit der Ladungskalibration.

Die Feldabhängigkeit der Elektronen-Ausbeute wurde überprüft auf Übereinstimmung mit der Rekombinations-Theorie von Onsager. Für das Verhältnis zwischen Steigung und Achsenabschnitt von $G_{fi}(E)$ (S/I, slope to intercept ratio) konnte eine obere Grenze bestimmt werden. Sie liegt bei 84 % des von der Theorie gelieferten Werts.

Die beste gemessene Energieauflösung für 976 keV Elektronen liegt bei 7.8 % (Halbwertsbreite).

Elektronenausbeuten für 14.2 MeV und 2.7 MeV Protonen wurden gemessen mit der Orientierung des elektrischen Feldes senkrecht zur Spur. Die Resultate lassen sich beschreiben mit einem Birks-Ansatz der Form:

$$G_{fi}(E) = G_{fi}^0(E)/(1 + K_B(E) \cdot dE_{kin}/dx)$$

Für $G_{fi}^{\circ}(E)$, dem Grenzwert der Ladungsträgerausbeute gegen unendlich kleine Ionisationsdichte, konnte derselbe Wert genommen werden wie für Elektronen. Je nach Feldstärke liegt $G_{fi}^{\circ}(E)$ zwischen 11 % (bei 1.7 kV/cm) und 4 % (bei 28.3 kV/cm) über der Elektronenausbeute für 976 keV-Elektronen.

Die Elektronenausbeute von Polonium-210-Alphaeilchen liegt zwischen 10 % und 25 % über den Birks-Fits bestimmt aus Elektronen- und Protonenmessungen.

Die gefundene Abhängigkeit der Birks-Konstanten vom elektrischen Feld E im untersuchten Bereich (zwischen 1.7 kV/cm und 28.3 KV/cm) ist:

$$K_B(E) = 0.08 \cdot E^{-0.305} \text{ [cm/MeV]} \quad (E \text{ in [kV/cm]})$$