

Transiente Photoleitfähigkeit (Time-of-Flight - TOF)

Motivation

Für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche organischer Halbleiter sind die elektronischen Transporteigenschaften der verwendeten Materialien von außerordentlicher Bedeutung. Die hier interessierende Meßgröße ist die Beweglichkeit von positiven und negativen Ladungsträgern im Halbleiter. Die Beweglichkeit bestimmt beispielsweise die maximale Schaltfrequenz von Feldeffekttransistoren und legt für Solarzellen die optimale Dicke der Absorberschicht fest. In Kooperation mit dem Lehrstuhl für Experimentalphysik VI der Universität Würzburg stehen dem ZAE-Bayern verschiedene Methoden zur Messung der Ladungsträgerbeweglichkeit in organischen Halbleitern zur Verfügung. Dazu zählt unter anderen die Messung der Flugzeit (time-of-flight, TOF) Beweglichkeit, welche sich insbesondere für Materialien mit niedriger Mobilität eignet.

Messprinzip

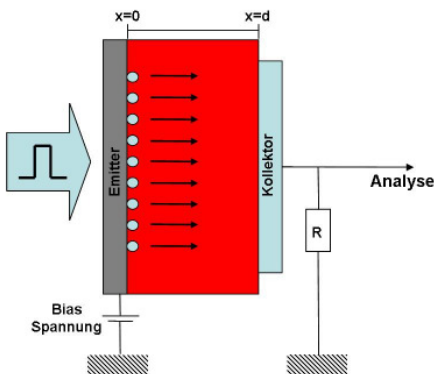


Abb. 1: Schema der Flugzeit-Beweglichkeitsmessung

Um die Ladungsträgerbeweglichkeit μ zu bestimmen wird die Laufzeit der durch einen kurzen Licht- oder Spannungspuls erzeugten Ladungsträger durch die Halbleiterschicht gemessen. Dazu wird eine Halbleiterprobe von einer Seite mit einem transparenten Kontakt auf der anderen Seite mit einem Metallkontakt versehen (Abb. 1). Ein kurzer Licht- oder Spannungspuls (ns- μ s) generiert am linken Kontakt ($x=0$) eine Raumladungsschicht, welche unter Einfluss der angelegten Spannung V zur gegenüberliegenden Elektrode ($x=d$) driftet. Dieses Messprinzip setzt relativ niedrige Beweglichkeiten oder hohe Schichtdicken im Bereich von $1\mu\text{m}$ voraus. Nach der mittleren Laufzeit t_{tr} erreichen die bei $x=0$ erzeugten Ladungsträger die extrahierende Elektrode bei $x=d$. Der zeitliche Verlauf des resultierenden

Stromsignals (Abb. 2) wird mit Hilfe eines hoch auflösenden Speicheroszilloskops aufgezeichnet und die Laufzeit ermittelt.

Für eine Halbleiterprobe der Schichtdicke d kann aus der Laufzeit die Volumenbeweglichkeit μ ermittelt werden:

$$t_{tr} = \frac{d^2}{\mu V} \Leftrightarrow \mu = \frac{d^2}{t_{tr} V}$$

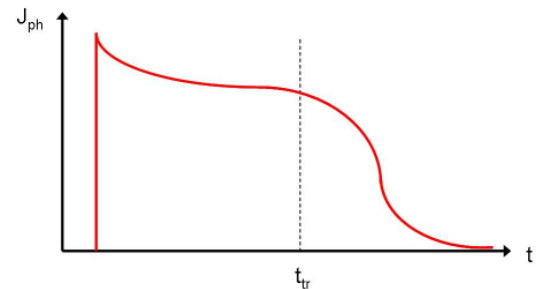


Abb. 2: Photostromtransiente aus einer TOF-Messung. Für Zeiten $t < t_{tr}$ resultiert der Strom aus den Ladungsträgern, welche im Bereich $0 < x < d$ erzeugt wurden. Zur Zeit $t = t_{tr}$ erreichen gerade die bei $x=0$ erzeugten Ladungsträger die gegenüberliegende Seite

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Messprinzips ist, dass die Laufzeit t_{tr} der Ladungsträger durch die Halbleiterprobe deutlich unter der dielektrischen Relaxationszeit τ_σ der elektrischen Leitfähigkeit σ liegt, d.h.:

$$t_{tr} = \frac{d^2}{\mu V} \ll \tau_\sigma = \frac{\epsilon \epsilon_0}{\sigma}$$

Die Bestimmung der Ladungsträgerbeweglichkeit aus Flugzeitmessungen ist auf Proben mit nur geringer Ladungsträgerbeweglichkeit beschränkt. Sie wird jenseits des Gleichgewichtszustands gemessen, besitzt allerdings den Vorteil, dass keine Kontaktwiderstände keinen Einfluss auf die Probe nehmen, da keine Ladungsträgerinjektion stattfindet.

Spezifikationen

Messgröße:	Ladungsträgerbeweglichkeit
Anregung:	Optische Pulslänge: 5 ns Wellenlänge: 360 nm - 700 nm
Temperatur:	15 K – 350 K
Detektion:	1 GHz Speicheroszilloskop
Atmosphäre:	Helium-Kontaktgas (1000 mbar), Vakuum
Probenformen:	Halbleiterschichten (einige μm) max. $20 \times 20 \text{ mm}^2$

Ansprechpartner

Dr. Ingo Riedel
Tel.: ++49 931 888-5894
Fax.: ++49 931 705-6460
email: riedel@zae.uni-wuerzburg.de
<http://www.zae-bayern.de>

Anschrift:

ZAE Bayern
Am Hubland
97074 Würzburg