

CELIV Beweglichkeitsmessungen

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 anderem die Messung der Gleichgewichts-Ladungsträgerbeweglichkeit mit Hilfe des CELIV-Verfahrens.

Messprinzip

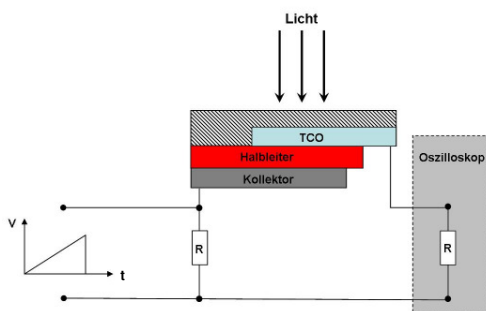


Abb. 1: Messaufbau für (Photo-) CELIV-Beweglichkeitsmessungen.

CELIV ist die Abkürzung für „Charge Extraction with Linearly Increasing Voltage.“ Die Probe ist eine Diode, welche als Halbleiterschicht das zu untersuchende Material enthält. Eine der zwei Elektroden ist blockierend, während die zweite zur Stromentnahme verwendet wird. An die Probe wird eine zeitlich linear ansteigende Spannung $U(t)=At$ (Rückwärtsspannung zur Extraktion) angelegt und die resultierende Stromtransiente mit Hilfe eines hochauflösenden Speicheroszilloskops aufgezeichnet (Abb. 1). Da keine Ladungsträgerinjektion stattfindet, wird bei ideal blockierenden Kontakten ausschließlich die Extraktion von Gleichgewichtsladungsträgern gemessen. Abbildung 2 zeigt die typischen Stromtransienten einer CELIV-Messung.

Durch die geometrische Kapazität der Probe wird ein resultierender Strom $j_0 = \epsilon \epsilon_0 A/d$ gemessen (ϵ : relative Permeabilität, ϵ_0 : Dielektrizitätskonstante, A : Spannungsrampe, d : Elektrodenabstand). Die zusätzliche Ladungsträgerextraktion führt zu einem zusätzlichen Strom aus dessen anfänglicher Steigung für sehr kleine Zeiten $t \rightarrow 0$ die Leitfähigkeit σ bestimmt werden kann (Abb. 2). Gleichzeitig lässt sich die relative Permeabilität ϵ , bzw. die Schichtdicke der Probe aus der geometrischen Kapazität ermitteln. Die Zeit t_{max} zum Erreichen der maximalen Stromextraktion wird zur Abschätzung der Gleichgewichtsbeweglichkeit der Ladungsträger herangezogen. Diese errechnet sich für Materialien mit niedriger Ladungsträgerbeweglichkeit zu:

$$\mu = \frac{2d^2}{At_{max}^2}$$

Die 1-Puls CELIV-Methode setzt einen ideal blockierenden Kontakt in der Diodenstruktur voraus. Bei nichtideal blockierendem Kontakt führt die Anwendung zweier zeitverzögerter Pulse zu zwei Stromtransienten (Abb. 2) aus deren Differenz und ihrer Abhängigkeit von der

Verzögerungszeit sich die Ladungsträgerdichte im Gleichgewicht ermitteln lässt.

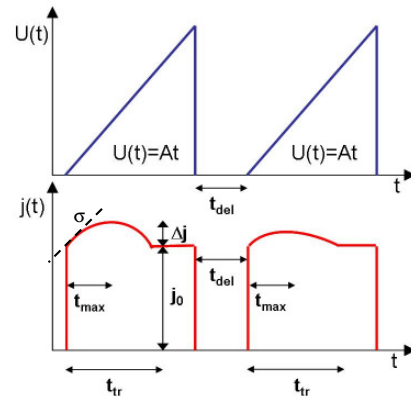


Abb. 2: Schematische Darstellung der Spannungspulse $U(t)$ und Stromtransienten $j(t)$ im CELIV-Verfahren. (A : Spannungsrampe, t_{del} : Verzögerungszeit, t_{max} : Zeit bis zur maximalen Stromextraktion, t_{tr} : Transitzeit, j_0 : Stromfluss aus geometrischer Kapazität, Δj : Extraktionsstrom).

Gleichzeitig kann aus dem Unterschied der sequentiell detektierten Stromtransienten auf die Qualität des blockierenden Kontaktes geschlossen werden. Für Halbleiter mit sehr niedriger Gleichgewichtsladungsträgerdichte muss die Meßmethode jedoch modifiziert werden, indem eine transparente Elektrode verwendet wird. Durch diese werden (vor dem Spannungspuls) über einen kurzen Lichtpuls zusätzliche Ladungsträger in der Halbleiterschicht erzeugt, welche sich dann wie zuvor beschrieben extrahieren lassen (Photo-CELIV).

Der Vorteil der CELIV-Methode besteht darin, dass die Beweglichkeit der Ladungsträger nahe dem Gleichgewicht bestimmt werden kann und keine zusätzlichen Kontaktwiderstände berücksichtigt werden müssen. Gleichzeitig erlaubt die CELIV-Methode die gleichzeitige Bestimmung einer Reihe wichtiger Halbleiterparameter im Gleichgewicht. Die grundsätzliche Schwierigkeit dieses Experimentes besteht darin, die Probengeometrie und die Verzögerungszeit so einzustellen, dass „saubere“ Transienten gemessen werden können.

Spezifikationen:

| | | |
|----------------------|---|--------------|
| Messgröße: | Ladungsträgerbeweglichkeit | |
| Anregung: | Pulslänge: | 5 ns |
| | Wellenlänge: | 360nm..700nm |
| Temperatur: | 15 K – 350 K | |
| Detektion: | 1 GHz Speicheroszilloskop (Auflösung ~ns) | |
| Atmosphäre: | Helium-Kontaktgas (1000 mbar), Vakuum | |
| Probenformen: | Halbleiterschichten (einige μm) max. 20x20 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