



V3 – Intensitätsmodulierte Spektroskopie an organischen Solarzellen

Ort: Labor C60.104 (Professur Optik und Photonik kondensierter Materie)

Betreuer: M. Sc. Christopher Wöpke

Ziel

Der Versuch behandelt zwei Schwerpunkte in der aktuellen Forschung an organischer Photovoltaik. Im ersten Themenbereich soll der Idealitätsfaktor n_{id} einer organischen Solarzelle bei Raumtemperatur möglichst genau bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden drei verschiedene Messmethoden angewandt und deren Vor- und Nachteile gegeneinander aufgewogen. Darüber hinaus soll die Ladungsträgerbeweglichkeit μ durch Messung der Transitzeit ermittelt werden.

Tag 1

- ▶ Herstellung organischer Solarzellen
- ▶ Aufnahme von Strom-Spannungs-Kennlinien unter Normbeleuchtung

Tag 2

- ▶ Kontaktierung der Proben in einem Durchflusskryostat
- ▶ Justage der verwendeten Optiken
- ▶ Durchführung von Intensitätsmodulierter Photostrom-/Spannungsspektroskopie (IMVS/IMPS)
- ▶ Messung von generationsabhängigen Wertepaaren von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung
- ▶ Besprechung der Auswertung der erhaltenen Messungen mit numerischer Anpassung der impliziten Strom-Spannungs-Kennlinie (1)

Aufgabenstellung

Eine realitätsnähere Form der Shockley-Diodengleichung für den Stromdichten-Spannungs-Verlauf $J(V)$ kann wie folgt als implizite Funktion beschrieben werden:

$$J(V) = J_0 \left[\exp \left(\frac{q(V - J(V)R_s)}{n_{id}k_B T} \right) - 1 \right] - \frac{q(V - J(V)R_s)}{R_p} - J_{ph} \quad (1)$$

Hier bezeichnet J_0 den Dunkel-Sättigungsstrom, J_{ph} den generierten Photostrom, n_{id} den Idealitätsfaktor, sowie R_p und R_s parasitäre Parallel- und Serienwiderstände im Ersatzschaltbild einer realen Solarzelle.

Theoretische Grundlagen



Im Anschluss an die Versuchstage soll eine Auswertung unter Berücksichtigung der Themenschwerpunkte vorgenommen werden. Der Idealitätsfaktor n_{id} ist aus expliziten und impliziten Fits der Strom-Spannungskennlinie, Fits und numerischen Ableitungen von Wertepaaren von Kurzschlussstrom J_{sc} und Leerlaufspannung V_{oc} (suns- V_{oc} -Messung) sowie aus der IMVS-Messung zu ermitteln und zu vergleichen. Die Ladungsträgermobilität μ wird aus IMPS-Messungen ermittelt. Es ist eine Fehlerbetrachtung hinsichtlich der Mess- und Auswertungsmethode vorzunehmen und mögliche Fehlerquellen sind zu benennen.

Organischer Halbleiter, organische Solarzelle, donor-acceptor bulk-heterojunction, Shockleygleichung, Externe Quanteneffizienz (EQE), Ladungs-Transfer-Zustand (charge-transfer state), Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom, Idealitätsfaktor, intensity-modulated spectroscopy

- ▶ Je nach Verfügbarkeit und aktueller Forschungstätigkeit können Nasschemisch hergestellte oder thermisch bedampfte organische Solarzellen vermessen werden. Typische Materialkompositionen sind z.B. Heteroverbindungen aus halbleitenden Polymeren (Poly(3-hexylthiophen) o.ä.) oder verdampften Molekülen wie Zink-Phthalocyanin zusammen mit Fullenderivaten (PCBM, C_{60}).
- ▶ Zur Feinjustage sind entsprechende Laserschutzbrillen vorhanden. Während der Messung wird der gesamte Messstand optisch abgeschirmt. Auf die Verwendung des korrekten Mess- und Justageprogrammes sowie auf die Einhaltung der vom Betreuer gegebenen Sicherheitsunterweisung ist zu achten.
- ▶ Zur Strom- und Spannungsmessung steht eine Source-Measure-Unit zur Verfügung. Das Gerät ist bei unsachgemäßer Bedienung in der Lage, potentiell gefährliche Ströme bzw. Spannungen zu erzeugen. Auf die Benutzung der korrekten Messroutinen sowie der korrekten Kontaktierung ist zu achten.

- [1] Tvingstedt, Kristofer, and Carsten Deibel. *Temperature dependence of ideality factors in organic solar cells and the relation to radiative efficiency*. *Advanced Energy Materials* 6.9 (2016): 1502230.
- [2] Deibel, Carsten, and Vladimir Dyakonov. *Polymer–fullerene bulk heterojunction solar cells*. *Reports on Progress in Physics* 73.9 (2010): 096401.
- [3] Würfel, Peter. *Physik der Solarzellen*. Spektrum, Akad. Verlag, 2000.
- [4] Göhler, Clemens, Alexander Wagenpfahl, and Carsten Deibel. *Nongeminate recombination in organic solar cells*. *Advanced Electronic Materials* 4.10 (2018): 1700505.
- [5] Nojima, Hiroki; Kobayashi, Takashi; Nagase, Takashi; Naito, Hiroyoshi. *Modulated Photocurrent Spectroscopy for Determination of Electron and Hole Mobilities in Working Organic Solar Cells*. *Scientific Reports* 9/1 (2019), pp. 1-8
- [6] Christopher Wöpke, Clemens Göhler, Maria Saladina, Xiaoyan Du, Li Nian, Christopher Greve, Chenhui Zhu, Kaila M. Yallum, Yvonne J. Hofstetter, David Becker-Koch, Ning Li, Thomas Heumüller, Ilya Milekhin, Dietrich R. T. Zahn, Christoph J. Brabec, Natalie Banerji, Yana Vaynzof, Eva M. Herzig, Roderick C. I. MacKenzie, Carsten Deibel. *Traps and transport resistance are the next frontiers for stable non-fullerene acceptor solar cells*. *Nature Communications* 13, 3786 (2022)