

## ORGANISCHE HALBLEITERMATERIALIEN: SYNTHESE, CHARAKTERISIERUNG, ANWENDUNG

Valentin SATZINGER<sup>1,2</sup>, Heinz PICHLER<sup>1,2</sup>, W. ROM<sup>1</sup>, B. STADLOBER<sup>1</sup> & Franz  
WALTER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Nanostrukturierte Materialien und Photonik (NMP), Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Franz Pichler Strasse 30, A-8160 Weiz

<sup>2</sup> Institut für Erdwissenschaften, Bereich Mineralogie und Petrologie, Karl-Franzens Universität, Universitätsplatz 2/II, A-8010 Graz

Die rasante Entwicklung der konventionellen Halbleiterindustrie in den letzten Jahrzehnten ist klar mit einem zur Herstellung von hochleistungsfähigen elektronischen Bauelementen überproportional gestiegenen technologischen und insbesondere finanziellen Aufwand verknüpft, sodass die entsprechenden Investitions- und Produktionskosten und das benötigte Know-how nur mehr von großen Industrieunternehmen aufgebracht werden können. Im Gegensatz dazu bieten organische Halbleiterbauelemente den Vorteil einer deutlich leichteren Prozessierbarkeit und der damit verbundenen niedrigeren Kosten, sowie einer Vielfalt verfügbarer Materialien für das Maßschneidern spezifischer Eigenschaften. Weiter lassen ihr geringes Gewicht, ihre mechanische Flexibilität, die generell gute Kompatibilität mit anderen bereits eingesetzten Kunststoffmaterialien, die potentiell leichte und billige Massenproduktion sowie die hohe Variabilität in den Anwendungsmöglichkeiten diese Technologie sowohl physikalisch als auch wirtschaftlich höchst attraktiv erscheinen [1]. Es sei jedoch angemerkt, dass organische Halbleiterbauelemente u.a. durch ihre signifikant niedrigeren Schaltgeschwindigkeiten und geringere Lebensdauern auf absehbare Zeit nicht in direkter Konkurrenz zu konventionellen anorganischen Bauelementen stehen bzw. diese verdrängen werden, sondern vielmehr komplementäre, integrierte Lösungen in spezifischen Anwendungsgebieten ermöglichen.

Organische Halbleitermaterialien kommen größtenteils in Form von polykristallinen Schichten oder Einkristallen (Molekülkristallen) zum Einsatz, wobei der Ladungsträgertransport hier im Wesentlichen durch den Überlapp des  $\pi$ -Elektronensystems benachbarter Moleküle bestimmt ist, sodass man von einem zumindest bandähnlichem Transport sprechen darf, bei dem sich Elektronen und/oder Löcher in elektronischen Bändern bewegen. Diese Form des Ladungstransports macht bestimmte organische Moleküle (z.B. Vertreter der Acene wie Pentacen, Tetracen, ...) besonders interessant im Hinblick auf die Realisierung elektronischer Bauelemente.

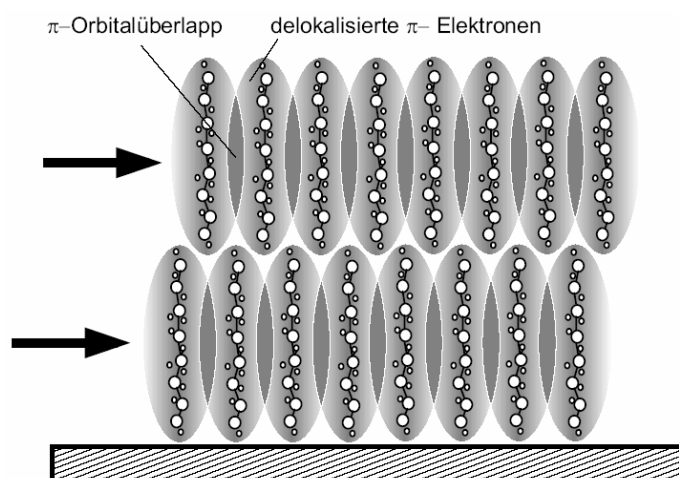


Abb. 1: Für einen effektiven Ladungsträgertransport in paralleler Richtung zur Substratoberfläche sollten ebene, aromatische Moleküle in möglichst geringem Abstand voneinander (hoher Molekülorbitalüberlapp), senkrecht zur Substratoberfläche stehen [2].

Die Vorreinigung vieler organischer Halbleitermaterialien und die Synthese von Einkristallen erfolgt in einer sogenannten „Hot-Wall-Epitaxie“-Anlage [3]. Darin wird das Ausgangspulver infolge „physikalischer“ Abscheidung ohne chemische Reaktion im Sublimationsbereich in die Gasphase überführt und im Kondensationsbereich wieder als Kristallphase abgeschieden. Etwaige Verunreinigungen in der Ausgangssubstanz sollten in ihrer ursprünglichen Konzentration durch einen intrinsischen Reinigungsprozess während des Kristallwachstums verringert werden (fraktionierte Sublimation). Es sei angemerkt, dass das NMP betreffend die Zucht von organischen Halbleitereinkristallen in Österreich eine singuläre Position innehat.

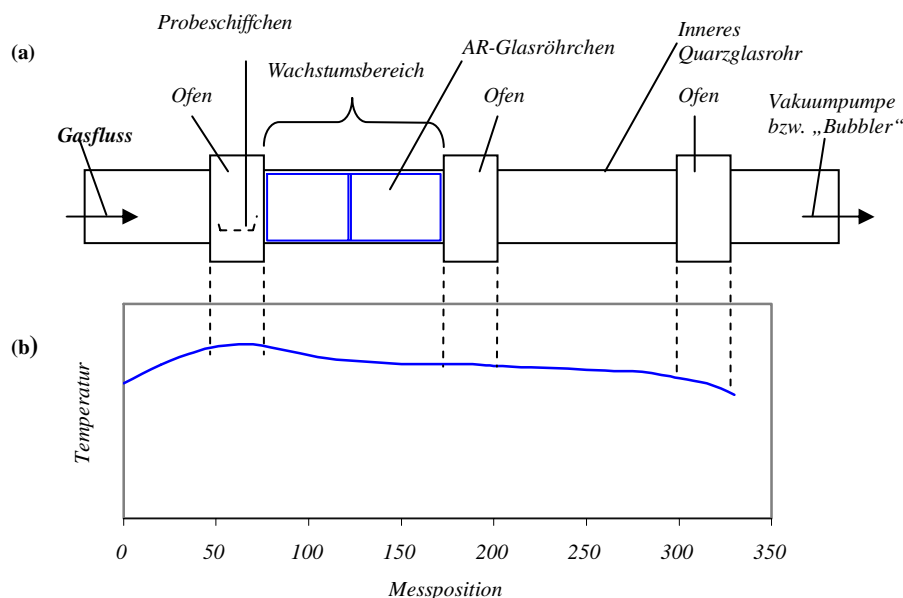


Abb. 2:

- (a) Schematische Darstellung des Innenraums der „Hot-Wall-Epitaxie“-Anlage  
 (b) Typischer flacher Temperaturverlauf im Innenraum des Quarzglasrohres für gute Synthesergebnisse

Die strukturelle Charakterisierung der Syntheseprodukte erfolgt vor allem anhand von kristalloptischen, röntgenographischen und Raman-Methoden, die Aussagen über die Phase, den Zusammenhang zwischen Gitterbau und Kristallmorphologie, die Kristallqualität und die Orientierung von Kristalliten auf einer Substratoberfläche ermöglichen.

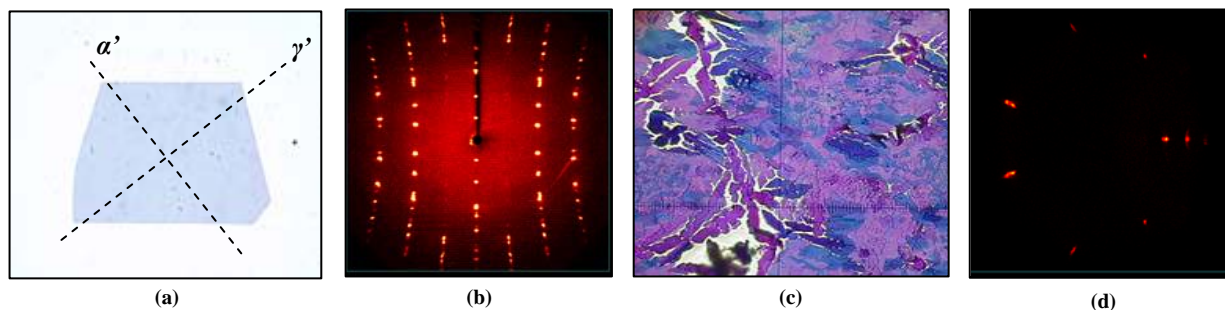


Abb. 3:

- (a) Durchlichtaufnahme eines Pentaceneinkristalls mit eingezeichneter Lage der Schwingungsrichtungen und (c) eines im Ultrahochvakuum hergestellten Pentacenfilms auf Glas; (b) Aufnahme eines Pentaceneinkristalls und (d) eines Pentacenfilms in einem Röntgentexturgoniometer mit zweidimensionalem Flächendetektor

Zur elektrischen Charakterisierung der organischen Einkristalle kommt die Methode raumladungsbegrenzter Ströme („space-charge limited currents“) zum Einsatz, mit deren Hilfe Informationen über Störstellenkonzentrationen sowie über die Beweglichkeit der Ladungsträger erhalten werden können [4].

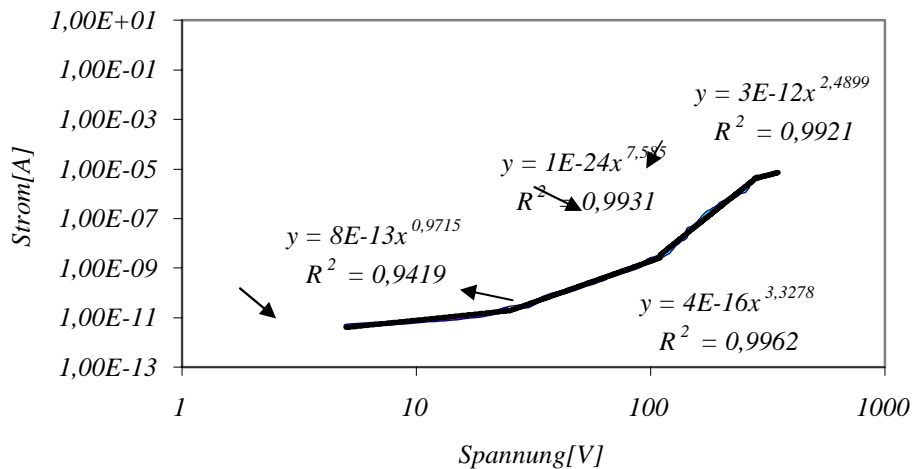


Abb. 4: SCLC-Messkurve eines Pentaceneinkristalls in doppelt-logarithmischer Darstellung

Über dünne polykristalline Pentacenschichten (10er nm-Bereich) können elektronische Bauelemente wie z.B. Feldeffekttransistoren (FET) realisiert werden, in denen die Leitfähigkeit der organischen Halbleiterschicht durch Variation der Ladungsträgerdichte mit Hilfe eines elektrischen Feldes verändert wird. Optoelektronische Bauelemente wie z.B. ein elektrisch gepumpter organischer Laser können prinzipiell durch den Aufbau einer Doppel-FET-Struktur an einem organischen Molekül-Einkristall realisiert werden.

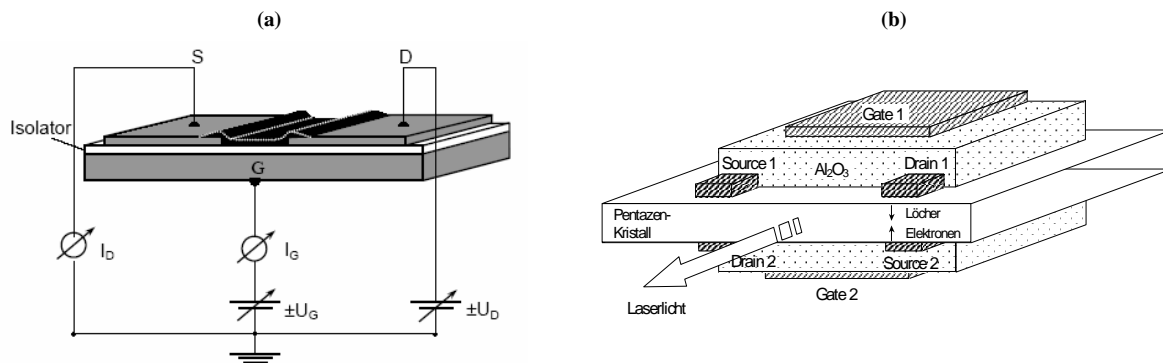


Abb. 5: (a) Schematischer Aufbau eines FET; bei geeigneter Wahl der Gate-Spannung ( $U_G$ ) und angelegter Source-Drain-Spannung ( $U_D$ ) fließt ein Strom  $I_D$  zwischen Source und Drain [2]. (b) Schematische Darstellung der Doppel-FET-Struktur eines elektrisch gepumpten organischen Molekülkristall-Lasers [nach 5].

## References

- [1] HAASE, A., JAKOPIC, G., REITZER, R., ROM, W., STADLOBER, B. (2002) Organische Optoelektronik und Photonik, in: It's Time, Ausgabe 2/2002
- [2] MÜNCH, M. (2001) Strukturelle Beeinflussung der elektrischen Transporteigenschaften dünner organischer Schichten, Dissertation
- [3] LAUDISE, R.A., KLOC, CH., SIMPKINS, P.G., SIEGRIST, T. (1997) Physical Vapor Growth Of Organic Semiconductors, in: Journal of Crystal Growth 187 (1998) 449-454
- [4] LAMPERT, M.A., MARK, P. (1970) Current Injection In Solids, Academic Press
- [5] SERVICE, R.F. (2000) Organic Lasers Promise New Lease On Light, in: Science, Vol. 289, 519