

Organische Elektronik

Organische Materialien wie Polymere werden in der Elektronik aufgrund ihrer isolierenden, halbleitenden oder metallischen Eigenschaften eingesetzt. Bereits heute sind sie in kommerziellen Produkten wie Displays und Leuchtmitteln auf Basis organischer Leuchtdioden, organischer Solarzellen und Transistoren zu finden. Denn polymere Materialien sind kostengünstig und einfach zu bearbeiten.

Als vor über 30 Jahren das erste leitfähige Polymer synthetisiert wurde, war noch nicht klar, welchen Einfluss diese Entdeckung auf die Wissenschaft und Technik haben wird. Ende der 80er-Jahre wurden in Forschungslabors von Kodak mit organischen Leuchtdioden und Solarzellen die ersten organischen Bauelemente entwickelt. Seitdem forschen Wissenschaftler an den grundlegenden physikalischen Mechanismen in organischen Bauelementen und ihrer technischen Weiterentwicklung. Vereinzelt findet man organische Elektronik seit über 10 Jahren in kommerziell erhältlichen Produkten, wie Mobiltelefonen und Digitalkameras.

Organische Halbleiter

Organische Moleküle bestehen wie auch Lebewesen und Pflanzen aus Kohlenstoffver-

bindungen. Die Vielfalt der uns umgebenden Natur spiegelt sich in der Vielfalt der möglichen organischen Moleküle wieder, die je nach Anwendungsgebiet spezifisch synthetisiert und optimiert werden. Massgeschneiderte Eigenschaften können bei Polymeren durch Variation der chemischen Struktur ihrer Wiederholungseinheiten erreicht werden. In den 50er- und 60er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden die Elektrolumineszenz von organischen Einkristallen bei hohen Spannungen und metallische Leitfähigkeit in Polymeren entdeckt. Erst später wurde untersucht, wie sich organische Moleküle mit halbleitenden Eigenschaften gezielt synthetisieren lassen. Die Entwicklung von Dünnschichttechnologien führte Ende der 80er-Jahre zu einem Durchbruch dieses Forschungs-

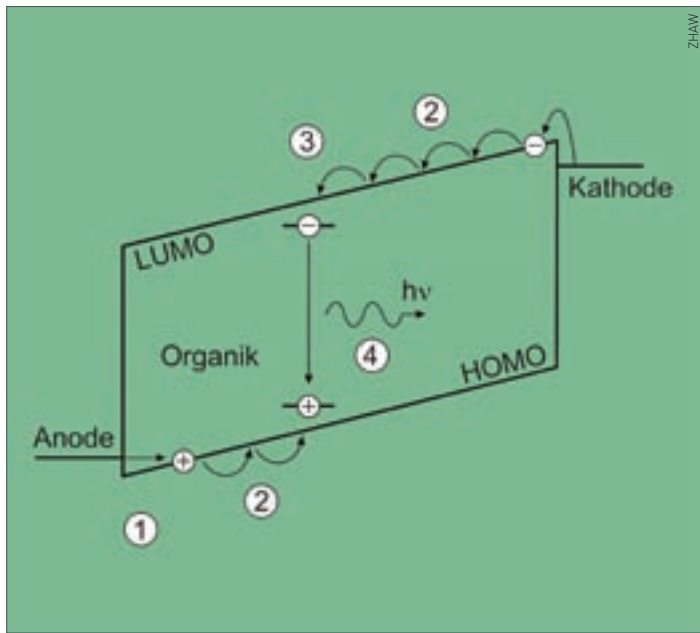
gebiets. Organische Halbleiter sind konjugierte organische Verbindungen mit in weiten Bereichen durchstimmbaren funktionellen Eigenschaften. Zu diesen Eigenschaften gehören beispielsweise die Leitfähigkeit sowie das Emissions- und Absorptionsverhalten. Der energetische Abstand zwischen dem höchsten besetzten und dem niedrigsten unbesetzten Molekülorbital ähnelt mit Energien zwischen 1 und 4 eV der Bandlücke in anorganischen Halbleitern, entsprechend dem infraroten bis ultravioletten Wellenlängenbereich. Ein wesentlicher Unterschied zwischen anorganischen und organischen Halbleitern ist ihr Bindungstyp. Während die Moleküle in organischen Halbleitern durch van-der-Waals Kräfte zusammengehalten werden, wirken zwischen Atomen in anorganischen Halbleitern

kovalente Bindungskräfte. Dieser Unterschied wirkt sich auf die mechanischen und thermodynamischen Eigenschaften organischer Halbleiter aus, beispielsweise in einer geringeren Härte und einer niedrigen Schmelztemperatur. Vor allem aber bewirken die schwachen intermolekularen Bindungskräfte in organischen Halbleitern eine Lokalisierung der elektronischen Wellenfunktion, während sich diese im anorganischen Halbleiter über mehrere Kristallgitterperioden erstrecken kann. Dies hat weit reichende Konsequenzen auf die elektrischen und optischen Eigenschaften von organischen Halbleitern. So erfolgt der Ladungstransport über einen Hüpfmechanismus und es besteht eine grosse Ähnlichkeit zwischen den Absorptions- und Emissionsspektren des gasförmigen und festen Zustands.

Organische Solarzelle auf einer Plastikfolie.



Konarka



Das Banddiagramm einer OLED. Nach oben ist die Energie aufgetragen, nach rechts die Position innerhalb der halbleitenden Schicht. Wenn die Ladungsträger rekombinieren, strahlen sie Licht aus.

Organische Leuchtdioden

Der besondere Reiz organischer Leuchtdioden (OLEDs) liegt in ihrer dünnen Bauart, des grossen Betrachtungswinkels und der hohen theoretisch erreichbaren Effizienz. OLEDs bestehen aus einer oder einer Abfolge mehrerer dünner organischer Schichten, die von zwei metallischen Elektroden umschlossen werden. In modernen OLEDs können bis zehn oder mehr funktionelle Schichten zum Einsatz kommen. Die Funktionsweise einer OLED beruht auf dem Prinzip der Elektrolumineszenz. Ladungsträger werden über Elektroden in den organischen Halbleiter injiziert. Bei der Injektion von Ladungsträgern werden positiv geladene Molekülkationen (Löcher) generiert, indem anodenseitig Elektronen des Homo-Niveaus der organischen Schicht an die angrenzende Elektrode abgegeben werden. Auf der gegenüberliegenden Seite entstehen an der Kathode durch Elektroneninjektion in das LUMO-Niveau der halbleitenden Schicht negativ geladene Molekülanionen. Treffen Elektronen und Löcher aufeinander, entsteht ein Molekül im angeregten Zustand, das durch Abstrahlung von Licht wieder in den Grundzustand zurückkehrt.

Organische Feldeffekttransistoren

Organische Feldeffekttransistoren (OFETs) stellen neben OLEDs eine weitere Klasse elektronischer Bauelemente dar, die für die Forschung und Industrie interessant sind. Wie in ihrem anorganischen Pendant lässt sich der Stromfluss zwischen Source- und Drain-Kontakt durch Anlegen einer Gatespannung steuern. In OFETs beruht dieser Effekt auf einer Erhöhung der Ladungsträgerkonzentration mit zunehmender Gatespannung in einer wenigen Nanometer dicken Schicht des organischen Halbleiters oberhalb des Gate-Oxids. Die Entwicklung von OFETs ermöglicht es, elektronische Schaltungen druckbar zu machen. Die damit verbundene Kostenreduktion für elektronische Schaltkreise erlaubt beispielsweise die Entwicklung intelligenter Produktverpackungen.

Organische Photovoltaik

Mit wachsendem industriellen Interesse an OLEDs ist die organische Photovoltaik (OPV) Anfang dieses Jahrtausends verstärkt ins Rampenlicht der Forschung gerückt. Die starke Absorptivität von OPV-Materialien erlaubt Schichtdicken, die eine bis drei Grössenordnungen

geringer sind als bei anorganischen Technologien. Dies führt zu enormen Materialeinsparungen. Die höchsten im Labor erreichten Effizienzen liegen heute bei etwa 6% und werden momentan mit so genannten Kompositzellen erreicht. Im Vergleich dazu erreichen kommerzielle Silizium-Solarzellen zwischen 10 und 20%. Die Licht absorbierende Schicht besteht bei organischen Solarzellen nicht aus einem reinen Material, sondern es werden zwei Materialien gemischt als Schicht aufgebracht. Durch Absorption eines Photons wird ein gebundenes Elektron-/Lochpaar, das Exziton erzeugt. Der Grenzschicht zwischen den Materialien kommt eine besonders wichtige Rolle zu, da diese für die Aufspaltung des Exzitons in freie Ladungsträger verantwortlich ist. Die einzelnen Materialien der Komposittschicht sind für den Elektronen bzw. Lochtransport optimiert.

Erkenntnisse aus der Simulation

Um organische Bauelemente zu verstehen und zu optimieren, werden vermehrt Computersimulationen durchgeführt. Dazu müssen die oben beschriebenen Prozesse in einem Modell abgebildet und mit einem numerischen Algorithmus berechnet werden. Im Vordergrund steht zum einen die Optimierung des Schichtaufbaus in Bezug auf elektrische und optische Leistungsmerkmale. Zum anderen interessiert die Analyse der verschiedenen Verlustkanäle. Der Vergleich von Simulation und Experiment ist erforderlich, um Materialparameter zu ermitteln oder physikalische Modelle zu bestimmen. Zum Teil sind Simulationen in der Lage, die Leistungsmerkmale der Bauelemente vorherzusagen, was eine grosse Ersparnis im experimentellen Optimierungsaufwand erlaubt. Sowohl bei organischen Leuchtdioden, Solarzellen und Plastik-Schaltkreisen wird die nahe Zukunft weitere kommerzielle Anwendungen hervorbringen. Während OLED-Firmen in Asien die Produktion innovati-

ver Bildschirme ankurbeln, rüstet man sich in Europa für die Herstellung von OLED-basierten Lampen und organischen Solarzellen. Ein Vorgeschmack auf zukünftige Produktinnovationen gab Sony mit dem ersten auf dem Markt erhältlichen OLED-Fernseher im vergangenen Jahr sowie Philips mit ihrer diesjährigen Kommerzialisierung von OLED-Leuchtmitteln. Aber auch die eng verwandten Solarzellen und Schaltkreise aus Plastik befinden sich kurz vor dem kommerziellen Durchbruch. 

Dr. Nils A. Reinke ist Dozent für Physik am Institute of Computational Physics ICP und Leiter des Labors für optoelektronische Messtechnik an der ZHAW.

Prof. Dr. Beat Ruhstaller leitet das Institute of Computational Physics ICP, wo er eine Forschungsgruppe zur organischen Elektronik aufgebaut sowie die Firma Fluxim zur Kommerzialisierung von Simulationssoftware ausgegründet hat. www.icp.zhaw.ch, www.fluxim.com

Info

Forschungsprojekte an der ZHAW

An der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) am Institute of Computational Physics (ICP) entwickelt ein Team von Physikern, Mathematikern und Ingenieuren numerische Methoden, um gekoppelte physikalische und chemische Systeme und Prozesse zu modellieren. Einer der Forschungsschwerpunkte ist die organische Elektronik. Hier werden organische LEDs und Solarzellen mithilfe von numerischen Modellen näher untersucht, sowie später im Labor gemessen. Die Experimente sind wichtig, um die Simulationen zu validieren. Das ICP und seine Spin-off Firma Fluxim AG arbeitet unter anderem mit Philips Research Eindhoven zusammen und mit Forschungsgruppen an der EMPA, dem CSEM und der Ciba.