



## Neuartige Funktionalisierte Materialien

### *Advanced Functional Materials*

Das am 1.1. 2002 mit dem Industriepartner AT&S gegründete Christian Doppler Laboratorium Advanced Functional Materials beschäftigt sich in Zusammenarbeit mit AT&S sowie nationalen und internationalen Partnern mit der Entwicklung und Charakterisierung von funktionalisierten organischen Materialien für den Einsatz in gedruckten elektronischen und optischen Bauelementen. Die einfache Verarbeitbarkeit dieser Materialien mittels verschiedener Drucktechnologien, ihr geringes Gewicht und die vergleichsweise geringen Herstellungskosten ermöglichen die Realisierung von gedruckten elektronischen Bauelementen und Schaltungen und deren Integration in Leiterplatten. Ein Ziel ist es, neuartige Leiterplatten mit speziellen Funktionen zu realisieren.

Am 12. Oktober 2001 wurde in der Kuratoriumssitzung der Christian-Doppler-Gesellschaft das Christian-Doppler-Laboratorium für Advanced Functional Materials (Neuartige Funktionalisierte Materialien) genehmigt, welches mit Beginn dieses Jahres den operativen Betrieb aufgenommen hat. Das soeben gegründete CD-Labor reiht sich damit in eine Reihe von Österreichweit mittlerweile 24 und TUG-weit 6 CD-Laboratorien ein. Trotz der großen Bandbreite an wissenschaftlichen Themen, die in den verschiedenen CD-Laboratorien bearbeitet werden - von Zellstoffverarbeitung bis zur Kraftfahrzeugmesstechnik -, weisen alle eine Gemeinsamkeit auf; sie stellen eine wichtige Schnittstelle zwischen universitärer Grundlagenforschung und anwendungsorientierter industrienahe Forschung und Entwicklung dar, wodurch es möglich wird Erkenntnisse der Grundlagenforschung für die Wirtschaft zugänglich und nutzbar zu machen.

Um das wissenschaftlich und wirtschaftlich relevante Thema der Neuartigen Funktionalisierten Materialien zu behandeln, ist es im Rahmen des soeben gegründeten Labors gelungen, drei attraktive steirische Institutionen als Partner zu gewinnen.

Die Trägerorganisation ist das Institut für Festkörperphysik der Technischen Universität Graz in Kooperation mit dem Institut für Nanostrukturierte Materialien und Photonik der steirischen Forschungsgesellschaft JOANNEUM RESEARCH, wohingegen die Austria Technologie & Systemtechnik AG (AT&S) als Industriepartner fungiert. Geleitet wird das CD-Labor von Dr. Emil J.W. List.

Durch den Zusammenschluss einer universitären und einer außeruniversitären Forschungseinrichtung als Betreiber eines CD-Labors ist es gelungen, ein sehr attraktives interdisziplinäres Umfeld zu schaffen, in welchem erfahrene Mitarbeiter, vorhandenes Grundlagenwissen und erstklassige experimentelle Ausstattung für die notwendige Grundlagenforschung und Technologieentwicklung vereint sind und in dem auch 7-9 junge Wissenschaftler/innen im Rahmen von Diplomarbeiten und Dissertationen ein einzigartiges Betätigungsfeld finden.

#### AT&S AG

Im Zentrum der Aufmerksamkeit des CD-Labors steht jedoch der Industriepartner AT&S. Der AT&S - Konzern ist der größte und technologisch führende Leiterplattenhersteller Europas. Leiterplatten sind jene hochkomplexen Bauteile, die sich zum Beispiel als Herzstück im Inneren von Mobiltelefonen, Organizern und Handhelds finden. Bereits jetzt ist nahezu jedes vierte Handy in Europa mit einer Leiterplatte von AT&S ausgestattet. Und die technologische Entwicklung bewegt sich rasant vorwärts.

AT&S steht im internationalen Vergleich an der Spitze, was die Umsetzung neuer Technologien betrifft. Im Jahr 2000 wurde am Stammsitz in Leoben das modernste Leiterplattenwerk Europas in Betrieb genommen. Auch die anderen Standorte (Fehring, Indien)

werden zur Zeit für den Einsatz modernster Technologie ausgebaut. In Shanghai entsteht ein neuer Standort der Ende 2002 den Produktionsbetrieb aufnehmen wird.

Das strategische Ziel der Forschungs- und Technologieaktivitäten von AT&S in Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungsinstitutionen weltweit ist die Festigung der internationalen Position als renommierter, kompetenter Technologietreiber, der in seinem Technologiesegment exzellente Forschungsleistungen generiert und damit die Basis für technologische Spitzenprodukte zu konkurrenzfähigen Marktpreisen schafft.

Zu den drei Grundsäulen des CD-Labors ist es weiters gelungen, nationale und internationale renommierte Expertengruppen in die Forschungs- und Entwicklungsarbeit von funktionalisierten Materialien einzubinden. Im Mittelpunkt zukünftiger technologischer Entwicklungen in Bereichen der Elektronikindustrie steht die Entwicklung von neuen Fertigungs- und Produktionstechnologien. Deren Ziel ist die kostengünstige und zuverlässige Integration und



Abb. 1 (Figure 1): AT&S Leiterplatte (Produktionsprozess)

Miniarisierung von passiven und aktiven elektronischen sowie optoelektronischen Bauelementen über die Einbettung in Leiterplatten.

#### Direct Write Technologies

Als besonders leistungsfähig für die Umsetzung dieser Vorhaben haben sich so genannte „Direct Write Technologies“ herausgestellt. Direct Write Technologies wie z.B. Ink-Jet Printing oder Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation erlauben die direkte Fabrikation von elektronischen Bauelementen ohne Zuhilfenahme von Masken oder Fotostrukturierungsprozessen. Durch die Zuhilfenahme dieser neuen Technologien gelingt es einerseits die Gesamtprozesskosten bei der Herstellung von elektronischen Applikationen zu senken, weil Produktionsschritte wie das Bestücken und Einlöten von Bauelementen entfallen, da die Bauelemente direkt durch Drucken aufgebracht werden. Weiters kommt es auch zu einer drastischen Reduktion der benötigten Material-Ressourcen im Sinne des „Sustainability Concepts“.

Im Labormaßstab ist es bereits gelungen, einige der in der Elektronik gebräuchlichen elektronischen Bauelemente (Feld-Effekt Transistoren, Licht-emittierende Dioden, Widerstände...) vollständig oder zumindest teilweise mittels Direct Write Technologies zu realisieren.

#### Funktionalisierte Materialien

Um Bauelemente, wie Widerstände, Kapazitäten oder Transisto-

ren, mittels verschiedener Direct Write Technologies (z.B. Ink-Jet Printing) realisieren zu können ist es in erster Linie notwendig, die Materialien bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften und Verarbeitbarkeit Maß zu schneiden, d.h. diese zu funktionalisieren.

Für den Einsatz in elektronischen Bauelementen werden in Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des CD-Labors die verschiedensten leitenden, halbleitenden, isolierenden, magnetischen und Licht emittierenden anorganischen und organischen Pigmente und Nanopartikel sowie neuartige leitfähige bzw. elektroaktive Kunststoffe (Polymere) verwendet.

Damit diese Materialien die entsprechenden Funktionen in gedruckten elektronischen Bauelementen erfüllen können, müssen

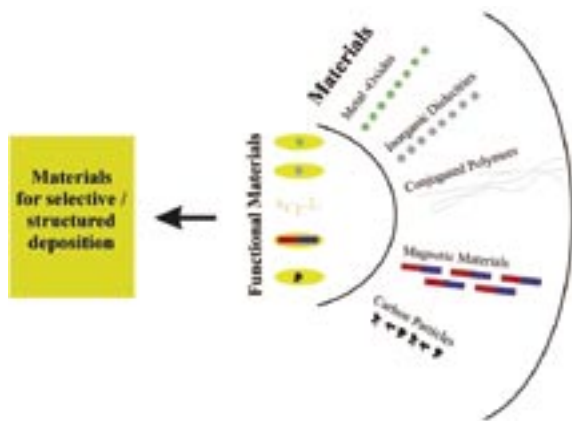


Abb. 2 (Figure 2): Schematisches Bild zur Funktionalisierung von Materialien

sie nicht nur die entsprechende maßgeschneiderte physikalische Eigenschaft haben, d.h. elektrisch leitend, halbleitend oder isolierend sein, sondern auch in Form einer „elektronischen Tinte“ vorliegen, damit sie druckbar sind.

Bei der Entwicklung neuer Materialien kommen daher zwei wesentliche Aspekte der Funktionalisierung zum Tragen: Zum ersten die Funktionalisierung von zum Teil schlecht oder unlöslichen Materialien um diese mittels diverser Drucktechnologien verarbeitbar zu machen sowie zum zweiten die gezielte Funktionalisierung zur Verbesserung bzw. Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Materialien.

In beiden Fällen der Funktionalisierung bedient man sich im ersten Schritt verschiedener physikalischer, chemischer, und diverser synthetischer und nanotechnologischer Methoden, wobei die chemischen Modifikationen sowie die Modifikationen durch Synthese in enger Zusammenarbeit mit verschiedensten Kooperationspartnern aus dem Bereich der Chemie durchgeführt werden.

Das Hauptaugenmerk der Forschungs- und Entwicklungsarbeit des CD-Labors liegt auf dem Zusammenspiel der physikalischen Charakterisierung der verschiedenen funktionalisierten Materialien, der Anpassung der Materialien an die verschiedenen Druckprozesse und der anschließenden Fabrikation und Charakterisierung von Bauelementen. Bei der Charakterisierung der verwendeten Materialien, bei der die Hauptaufgabe darin besteht die physikalischen Eigenschaften wie z.B. Teilchengröße, Form, Leitfähigkeit oder die Morphologie der Materialien im Festkörperform zu bestimmen, werden die verschiedensten spektroskopischen mikroskopischen, rheologischen und elektrischen Messtechniken und Messmethoden verwendet. Bei vielen Fragestellungen kommen auch Rastersondenmikroskopie und Elektronenmikroskopie sowie leistungsfähige, optische Mikroskopie zum Einsatz.

### Leitfähige und elektroaktive konjugierte Materialien

Weitere Aspekte der Grundlagenforschung des CD-Labors sind die Untersuchung von konjugierten leitfähigen, sowie elektroaktiven Molekülen und Polymeren, das Design, die Fabrikation und die Charakterisierung von druckbaren, organischen, elektronischen und optoelektronischen Bauelementen wie organischen Licht-emittierenden Dioden, Sensoren und Polymer Laser Strukturen.

Die einfachen und daher kostengünstigen Verarbeitungstechniken bieten bereits jetzt interessante Möglichkeiten für industrielle Anwendungen dieser Materialien, welche eine große Bandbreite der geforderten Eigenschaften aufweisen. Dünne homogene Schichten von kleinen Molekülen und Oligomeren können durch Aufdampfen in Vakuumanlagen hergestellt werden. Sind die verwendeten Moleküle löslich, was durch das chemische Anfügen von Seitenketten erreicht wird, so können sie aus Lösungen verarbeitet werden. Dies kann durch Aufschleudern (spincoaten) - für sehr dünne Schichtdicken -, oder durch die Doctor's Blade Technik zur Herstellung von sehr großflächigen und homogenen Filmen erfolgen.

Die meisten löslichen Materialien können auch in Form einer Tinte verarbeitet werden und sind damit prinzipiell für verschiedene Drucktechniken verwendbar.

Um die Anwendbarkeit von konjugierten Polymeren speziell für Aufgaben in gedruckten Bauelementen weiter zu verbessern, ist es notwendig, einige Eigenschaften dieser Materialien zu optimieren, da auch diese Klasse von Materialien, obwohl im Prinzip löslich, speziell auf den Herstellungsprozess abgestimmt werden muss. Dafür ist es notwendig in enger Kooperation mit Partnern in der Chemie durch geeignete chemische Synthesen Materialien und Materialkombinationen dem jeweiligen Verwendungszweck anzupassen.

### Nanotechnologie

Ein Großteil der Eigenschaften organischer Materialien, wie Ladungstransport und Effizienz der Lichtausbeute bei optischen Bauelementen werden unter anderem durch die Anordnung der Moleküle im Festkörper, sowie durch die daraus entstehenden Wechselwirkungen bestimmt, das heißt durch die Ordnung der Moleküle in der Dimension ihrer Größe, der Nanometer Skala.

Besonderes Augenmerk bei der zukünftigen Forschung wird daher auf das Wachstum sowie auf Struktur- und Eigenschaftsoptimierung gedruckter Schichten organischer Materialien auf verschiedenen Substraten gelegt werden. Dabei sollen durch Funktionalisierung modifizierte Materialien sowie Materialkombinationen spezielle Ordnungs- und Selbstorganisationseffekte im Nanometerbereich ausführen (Bottom Up Prinzip) um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen. So sollen z.B. der Ladungstransport, die Exzitonenbildung (z.B. in organischen Quantumwell-Strukturen) und die Emissionsquantenausbeute optimiert werden. Diese Arbeiten stellen die Grundlagen zur Realisierung von neuen, verbesserten optischen und elektronischen Strukturen und Bauelementen dar. Im Rahmen dieser Arbeit werden derartige funktionalisierte Materialien nicht nur entwickelt und charakterisiert sondern es

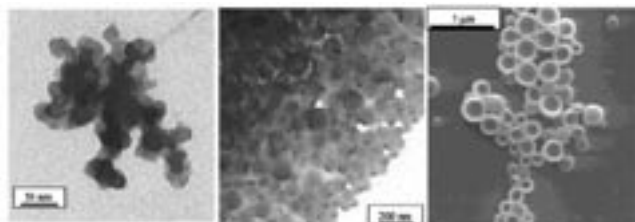


Abb. 3 (Fig. 3): Transmissionselektronenmikroskopaufnahmen von verschiedenen funktionalisierten Nano-partikeln. (a) zeigt ein leitfähiges Material, (b) ein magnetisches Material und (c) eingekapselte Flüssigkeiten.

werden auch Konzepte für den Einsatz dieser Materialien in neuartigen elektronischen und optischen Bauelementen getestet.

Abschließend sei bemerkt, dass die relativ einfache Anpassung von organischen Materialien durch Funktionalisierung, die einfache Verarbeitbarkeit mittels verschiedener Drucktechnologien, ihr geringes Gewicht und die vergleichsweise geringen Herstellungskosten in Zukunft die großtechnische Realisierung von gedruckten elektronischen Bauelementen und Schaltungen sowie die Integration von Bauelementen in Leiterplatten ermöglichen werden.

In Rahmen des CD-Labors werden daher in Zukunft in enger Kooperation mit dem Industriepartner AT&S sowie nationalen und internationalen Partnern im Wechselspiel zwischen Grundlagenforschung und Technologieentwicklung unter Zuhilfenahme verschiedener physikalischer, chemischer und nanotechnologischer Methoden neuartige funktionalisierte Materialien entwickelt und charakterisiert sowie deren Einsatz in elektronischen und optischen Bauelementen getestet.

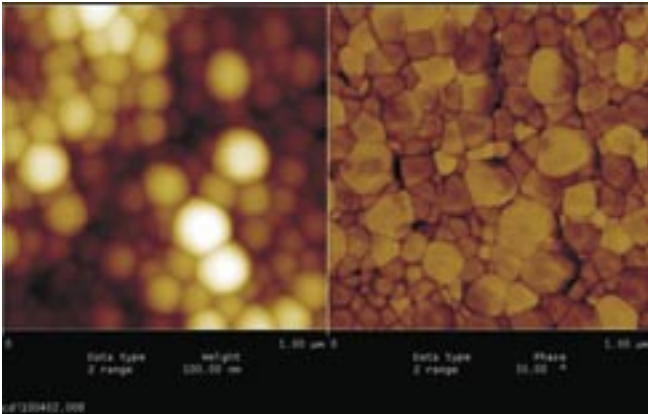


Abb. 4 (Figure 4): Rasterkraftmikroskopaufnahmen einer Nanopartikelschicht

### Advanced Functional Materials

The CD-Laboratory Advanced Functional Materials, which was founded with the industrial partner AT&S in January 2002, is working on printable electronic devices. To print active and passive electronic devices novel conducting and electroactive polymers and inorganic as well as organic pigments and nanoparticles are tailored for their physical properties and their processability – i.e. these materials are functionalized using a variety of physical, chemical and nanotechnological methods.

#### Printed electronics:

Although microelectronics develops at a tremendous speed, the way of mounting electronic devices such as resistors and transistors on printed circuit boards (PCBs) by soldering has not changed within the last decades.

The Christian-Doppler Laboratory (CDL) for Advanced Functional Materials, which was founded at the beginning of 2002 is dedicated to explore new ways in integrating these devices into PCBs. In cooperation with the industrial partner, the Austria Technologie & Systemtechnik AG (AT&S), new materials and technologies will be developed, which allow direct printing of such components onto circuit boards. This approach will lead to smaller, lighter and finally also cheaper electronic devices.

Like the other Christian-Doppler Laboratories in Austria, the CDL for Advanced Functional Materials is an important interface

between basic research performed at universities and industrial application-oriented research.

#### Cooperation of AT&S, TUG and JOANNEUM RESEARCH:

The Laboratory, which is headed by Dr. Emil List is situated at the Institute of Solid State Physics at Graz University of Technology and the Institute of Nanostructured Materials and Photonics of JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, in Weiz. The industrial partner is the AT&S AG. AT&S is the largest and technologically most advanced manufacturer of printed circuit boards in Europe. Printed circuit boards are highly complex components which, for example, form the core of mobile telephones. Almost every fourth mobile phone in Europe is already fitted with a printed circuit board produced by AT&S, and the technological development is rapidly moving forward. In addition we cooperate with a number of internationally renowned research groups.

By uniting an academic (TUG) and a non-academic partner (JOANNEUM RESEARCH) as carriers of a CD-Laboratory, a very attractive multidisciplinary environment has been achieved. It combines skilled, experienced employees and first class experimental equipment offering great opportunities for young scientists for e.g. PhD. or diploma thesis.

Functional materials are in the focus of our strongly increasing interest. These materials will allow totally new fabrication technologies, integration and miniaturization of passive (resistors, capacitors) and active (transistors) electronic components by embedding them into printed circuit boards.

#### Ink-jet printed resistors and capacitors:

Direct-write technologies are of increasing importance in materials processing, enabling, for example, novel electronic/optoelectronic circuit solutions and product types, the manufacturing of high-tech printed circuit boards with improved performance, and high reliability at reduced costs. In a direct-write approach, structures are built directly without the use of masks, allowing rapid prototyping and novel low cost fabrication techniques whereby respecting the concept of minimal consumption of energy and resources (sustainability concept). As materials and processing challenges are being met with increasing success, direct-write techniques move toward a wide range of applications. As it has been shown recently it is possible to fabricate components ranging from passive electronic components to all plastic integrated circuits and display applications exploiting techniques such as ink-jet printing. However, the revolutionary approach of printable plastic logic elements seems to be only the beginning of a new era of fabrication techniques for a wide range of applications. Due to the high potential of such direct writing methods, now there is a quest for the development of new classes of materials which combine the potential of processability with certain physical characteristics, such as tailored optical, electronic, mechanical, photonic, and magnetic properties.

#### Basic research meets application:

Working at the interface between chemistry, materials science and electronics we consider it as one of our main tasks to build up a fundamental basic knowledge and know-how in this field and harness it for industrial applications. Using a variety of physical, chemical and nanotechnological methods we are developing and characterizing advanced functional materials and test their applicability in electronic devices. The ease of processing by different printing technologies, their lightness and the comparably low costs of these new materials are outstanding properties which make them suitable for mass production and a challenge for the conventional technology.