

### Carbon Nanotubes and Related Structures

Die Kohlenstoffchemie liegt zurzeit voll im Trend! So wurden die Nobel-Preise für Physik und Chemie 2010 an A. Geim und K. Novoselov für die Entdeckung von Graphen, einer neuen allotropen Form des Elements Kohlenstoff, bzw. an R. H. Heck, E. Negishi und A. Suzuki für die Entwicklung palladiumkatalysierter Kreuzkupplungen, in denen C-C-Bindungen gebildet werden, verliehen. 1996 erhielten H. Kroto, R. Smalley und R. Curl den Nobel-Preis für die 25 Jahre zurückliegende Entdeckung der Fullerene.

Kohlenstoffnanoröhren (CNTs), ein weiteres Allotrop des Kohlenstoffs, sind seit den Entdeckungen der mehrwandigen CNTs durch S. Iijima im Jahr 1991 und der einwandigen CNTs (SWNTs) durch Iijima und Ichihashi (NEC Corporation) und Bethune et al. (IBM) zwei Jahre später Gegenstand intensiver Forschungen. Die einzigartigen physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften dieser neuen eindimensionalen Form des Kohlenstoffs berechtigten zu großen Erwartungen. Während der letzten beiden Jahrzehnte wurden zahlreiche ausgezeichnete Monographien über Kohlenstoffnanoröhren veröffentlicht. Angesichts der raschen Fortschritte in diesem Forschungsgebiet sind immer wieder neue Übersichtsartikel und Bücher wie das vorliegende notwendig, um den aktuellen Stand der Forschungen zu vermitteln.

Die Herausgeber, Dirk M. Guldi und Nazario Martin, sind Experten auf ihrem Gebiet: Guldi beschäftigt sich vor allem mit der Photophysik kohlenstoffbasierter Systeme, Martins Hauptgebiet ist die chemische Modifikation der verschiedenen Kohlenstoffnanoformen und die Entwicklung neuer Reaktionen für diese allotrope Formen.

Auf über 500 Seiten findet der Leser 16 Kapitel mit sich kaum überlappenden Themen, die in drei Bereiche eingeordnet sind. Der erste Teil beinhaltet Kapitel über die Herstellung, die elektrischen und elektrochemischen Eigenschaften, die Theorie und die Reaktivität von CNTs. Im zweiten Teil werden Anwendungen von CNTs in Bereichen der Biologie und Materialwissenschaften beschrieben. Der dritte Teil setzt sich aus Kapiteln über weniger bekannte Kohlenstoffnanostrukturen wie Nanohörner, Nanographene und endohedrale Fullerene zusammen. Das Buch schließt mit einem Kapitel zur Berechnung der Energie, Thermodynamik und Stabilität von CNTs. In den meisten Kapiteln werden die wichtigsten Aussagen am Ende noch einmal zusammengefasst. Die Themen werden in den von verschiedenen Autoren verfassten Kapiteln sehr gut dargestellt, obgleich nicht alle maß-

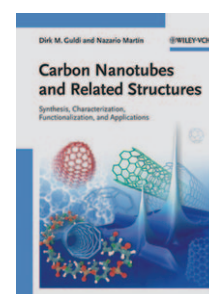
geblichen Experten der Chemie und Physik der CNTs Beiträge geliefert haben.

In Kapitel 1 beschäftigen sich Rümmeli, Ayala und Pichler mit der Herstellung und Reinigung von CNTs. Auf wichtige Prozesse wie die Trennung nach Länge, die Kontrolle der Gitterdefekte und die Trennung chiraler CNTs wird umfassend eingegangen. Die Theorie der elektrischen und optischen Eigenschaften von DNA-SWNT-Hybridstrukturen wird von Rodkin und Snyder in Kapitel 2 abgehandelt. In diesem interessanten Beitrag werden die kürzlich entdeckten Hybridstrukturen aus Einzelstrang-DNA und einwandigen Kohlenstoffnanoröhren und der Einfluss der geladenen DNA-Schale auf die elektrischen und optischen Eigenschaften der SWNTs beschrieben.

Das ausführliche Kapitel 3 von Iurlo, Marcaccio und Paolucci ist der Elektrochemie von CNT-basierten Materialien gewidmet. Der darauf folgende Beitrag über die Photophysik von CNT-Materialien ist nicht minder umfassend. Meilensteine in der CNT-Chemie werden anschließend in zwei ausgezeichneten Kapiteln herausgestellt. Herranz und Martin erörtern in Kapitel 5 die nichtkovalente Funktionalisierung von CNTs, während Hauke und Hirsch in ihrem Beitrag Arbeiten über die kovalente Funktionalisierung sorgfältig zusammenfassen. Beide Kapitel liefern einen umfassenden Überblick über die Methoden, die zur Herstellung von CNT-basierten kovalenten und supramolekularen Systemen verwendet wurden, und somit die Grundlage für die Anwendungen von CNTs in den Materialwissenschaften, der Biologie und der Medizin sind.

Im ersten Beitrag des zweiten Teils, Kapitel 7, referieren Singh, da Ros, Kostarelos, Prato und Bianco über Anwendungen von Kohlenstoffnanomaterialien in der Biomedizin. Unter anderem wird auf die Biokompatibilität und Toxizität dieser Materialien eingegangen. Sgobba und Guldi berichten in Kapitel 8 ausführlich über den Ladungstransfer in CNTs im Grundzustand und angeregten Zustand. Der folgende Beitrag von Kymakis über die Verwendung von CNTs in organische Photovoltaik-Zellen ist eine willkommene Ergänzung des vorangehenden Themas. In Kapitel 10 beschreiben Shim und Kotov den schichtweisen Aufbau multifunktionaler dünner CNT-Filme. Diese Technik bietet eine interessante Möglichkeit, die Struktur von Kompositmaterialien im Nanometerbereich zu beeinflussen. Dieser Thementeil wird durch die Kapitel 11 und 12 abgeschlossen, in denen Castillejos und Serp über die Verwendung von CNTs in der Katalyse sowie Chamberlain, Gimenez-Lopez und Khlobystov über potentielle Anwendungen von CNTs als Nanobehälter für zahlreiche Verbindungen berichten.

Im dritten Teil des Buchs stehen andere Kohlenstoffnanostrukturen im Mittelpunkt. In Kapi-



**Carbon Nanotubes and Related Structures**  
Synthesis, Characterization, Functionalization, and Applications  
Herausgegeben von Dirk M. Guldi und Nazario Martin  
Wiley-VCH, Weinheim 2010. 540 S., geb., 149,00 €, ISBN 978-3-527-32406-4

tel 13 beschreiben Yudasaka und Iijima die Synthese, Struktur, chemische Funktionalisierung und potenzielle Anwendungen von Kohlenstoffnanoröhren (SWNH). Die Selbstorganisation von Nanographenen wird von Pisula, Feng und Müllen in Kapitel 14 ausgezeichnet erläutert. Die Autoren erklären, dass die Selbstorganisation in einzelnen Nanostrukturen funktionalisierter Graphene den Zugang zu neuen Anwendungen auf molekularer Ebene bietet. In Kapitel 15 informieren Feng, Akasaka und Nagase über die faszinierende Chemie der endohedralen Metallofullerene. Das letzte Kapitel von Slanina, Uhlik, Lee, Akasaka und Nagase ist eine Abhandlung über die Energie, Thermodynamik und Stabilität von Kohlenstoffnanostrukturen.

Das vorliegende Buch ist meines Erachtens eine willkommene Darstellung der interessantesten Bereiche der CNT-Forschung. Der Stil in den Kapiteln ist zwar, wie in Anbetracht der verschiedenen Autoren zu erwarten, unterschiedlich, aber die Themen werden klar erläutert. Ein kleiner Kritikpunkt sei jedoch erwähnt: Obwohl in jedem Beitrag eine Menge Literaturverweise aufgeführt sind,

stammen die aktuellsten nur aus dem Jahr 2009, und in einigen Kapiteln sogar nur aus dem Jahr 2008. In den meisten Kapiteln vermisste ich Hinweise auf neuere Arbeiten.

Insgesamt gesehen ist den Herausgebern zu danken, dass sie einige der wichtigsten Experten aus dem Forschungsgebiet Kohlenstoffnanoröhren dazu bewegen konnten, Beiträge zu verfassen. Das Resultat ist ein ausgezeichnetes Buch, das in der Privatbibliothek von Wissenschaftlern, die sich mit dem Thema beschäftigen, zu finden sein sollte. Aber auch jenen, die sich „nur“ für die wichtigsten Forschungserfolge auf dem Gebiet der CNTs und verwandter Verbindungen oder ganz allgemein für die Nanoformen des Kohlenstoffs interessieren, kann ich diese ausgezeichnete Lektüre sehr empfehlen.

Tomás Torres

Universidad Autónoma de Madrid und IMDEA  
Nanoscience  
Cantoblanco, Madrid (Spanien)

DOI: 10.1002/ange.201006930