



## Carbon-nanotubes – Strukturen, Eigenschaften, Herstellung

### Allgemeines:

Carbon-nanotubes, zu Deutsch Kohlenstoffnanoröhrchen, sind kleine röhrenförmige Gebilde aus Kohlenstoff. Ähnlich den Fullerenen haben sie eine wabenförmige, netzartige Struktur aus Kohlenstoff-Sechsringen. Die Kohlenstoffatome sind  $sp^2$ -hybridisiert. Die Nanotubes können einwandig (Single-walled nanotubes = SWNT) oder mehrwandig (Multi-walled nanotubes = MWNT) vorkommen. Einwandig haben sie einen Durchmesser von ungefähr einem Nanometer, mehrwandig kann ihr Durchmesser bis zu 50 nm betragen. Nanotubes können eine Länge von Micrometern, Millimetern oder sogar Zentimetern (als Röhrenbündel) erreichen. Die Unterschiede in Länge und Durchmesser, sowie die Anzahl der Wände und ob die Röhren an den Enden geschlossen oder offen sind, haben Einfluss auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften.

### Eigenschaften:

Carbon-nanotubes können je nach Struktur (siehe unten) Halbleiter, Leiter oder Supraleiter (bei tiefen Temperaturen) sein. Ihre Dichte liegt im Bereich von  $1,3 - 1,4 \text{ g/cm}^3$  und ist damit wesentlich geringer als die von Stahl ( $7,8 \text{ g/cm}^3$ ). Auch die Zugfestigkeit ist mit bis zu 63 GPa bei mehrwandigen Nanotubes deutlich größer als die von Stahl (2 GPa). Weiter zeichnet die Nanotubes auch eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufgrund der schnellen Ausbreitung der Gitterschwingungen (Phononen), sowie eine hohe Strombelastbarkeit aus. Letztere ist etwa 100-mal höher als die von Kupferdrähten. Weiterhin zeichnet die Nanotubes eine Elektronenemission bei geringen Spannungen aus.

### Struktur:

Auf den ersten Blick ähnelt die Struktur der Carbon-nanotubes der einer „aufgerollten“ Graphitstruktur. Dieser Eindruck kann aber täuschen, da die Nanotubes nicht aufgerollt sind wie ein Blatt Papier, sondern an den Enden zusammengefügt wurden. Somit entsteht eine auf der Längsseite geschlossene Röhre. Die beiden Kopfseiten können offen oder geschlossen sein. Wichtig für die Eigenschaften ist auch die „Rollrichtung“ der Nanotubes. Jedes Kohlenstoffatom auf einer Achse

kann, ähnlich eines Koordinatensystems, mit den Koordinaten  $m$  (X-Achse) und  $n$  (Y-Achse) beschriftet werden. Rollt man nun in Richtung eines Kohlenstoffs mit  $m=n$ , also in einem Winkel von  $30^\circ$ , so erhält man die Armchair-Struktur. Ist  $n=0$  oder  $m=0$ , man rollt also an einer Achse entlang (Winkel =  $0^\circ$ ), so erhält man die Zig-Zag-Struktur. Alle weiteren Rollrichtungen ergeben eine chirale Struktur. Die Rollrichtung ist ebenfalls für die metallischen Eigenschaften wichtig. So gilt: wenn  $(n-m)/3$  eine ganze Zahl ist, hat das Nanotube metallische Eigenschaften. In allen anderen Fällen handelt es sich um einen Halbleiter. In der Realität kommen häufig Defektstrukturen vor (Fehlen von C-Atomen, 5- oder 7-Ringe), welche die Eigenschaften der Kohlenstoffröhrchen verändern können.

### Herstellung:

Im Wesentlichen gibt es drei Verfahren zur Herstellung von Carbon-nanotubes:

- Bogenentladung:
  - Durch einen Lichtbogen wird zwischen Graphitelektroden ein Plasma erzeugt ( $3000 - 4000^\circ\text{C}$ ). In Anwesenheit eines Katalysators (Eisen, Kobalt, Nickel) entstehen einwandige Nanotubes, ohne Katalysator entstehen mehrwandige Nanotubes. Der Katalysator ist in der Graphitelektrode enthalten.
- Laserverdampfung:
  - In einem Ofen ( $1200^\circ\text{C}$ ) wird durch einen Laserstrahl Graphit verdampft. Das entstehende Plasma ist regelmäßiger als bei der Bogenentladung. Ansonsten wie Bogenentladung.
- Chemische Gasphasen-Abscheidung (häufig auch Plasmaunterstützt):
  - Gasförmige Kohlenstoffverbindungen (z.B. Kohlenwasserstoffe) werden über einen Katalysator geströmt (Temperatur:  $500 - 1000^\circ\text{C}$ ).

Bei allen Prozessen sind Wachstumsinitiatoren wichtig. Diese können sein:

- Kohlenstoffringe
- Fullerene mit Metallüberzug
- Metallcluster
- Metallcluster mit Kohlenstoff-Hexagonüberzug

### Quellen:

- ❖ U. Vohrer, N. Zschoerper, „Kohlenstoff-Nanoröhrchen – Phönix aus der Asche“, Vakuum in Forschung und Praxis Nr. 22-30, Wiley-VCH Verlag Weinheim
- ❖ [http://htc.physik.hu-berlin.de/de/lehre/details/vortraege/HL\\_Vortrag3.pdf](http://htc.physik.hu-berlin.de/de/lehre/details/vortraege/HL_Vortrag3.pdf)
- ❖ Kuzmany, Pfeifer, Simon, „Von der Erbse zum Nanoreaktor“, Chemie in unserer Zeit 1/2008, Wiley-VCH Verlag Weinheim

### Fragen:

- 1) Nennen und beschreiben Sie kurz Herstellungsverfahren für Carbon-nanotubes.
- 2) Wie können sich Carbon-nanotubes in ihrer Struktur unterscheiden.