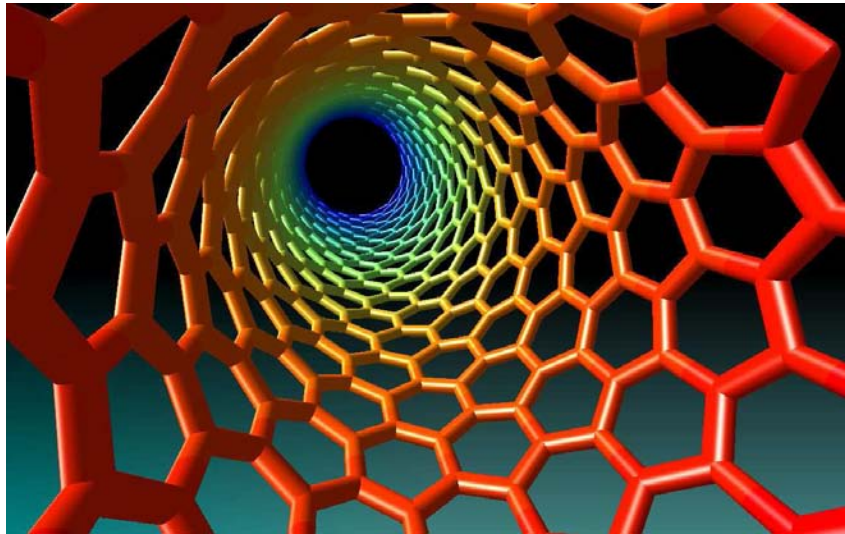
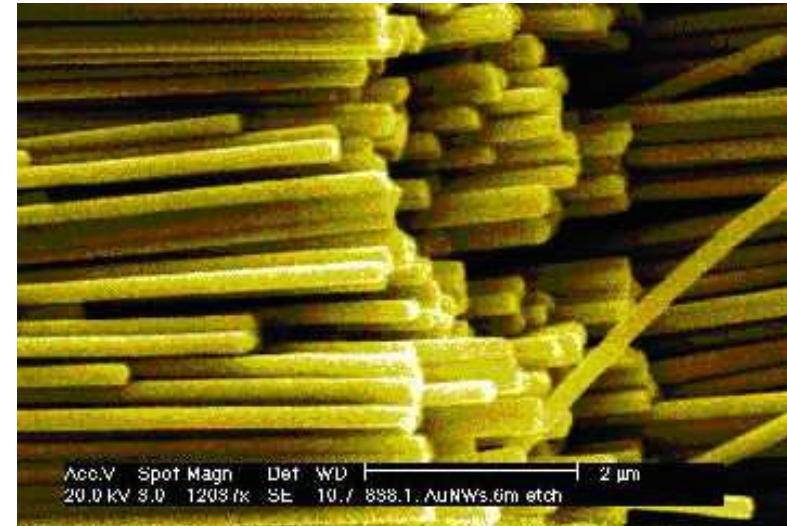


Nanoröhrchen und Nanodrähte



[\[http://qt.tn.tudelft.nl/student/studentprojecten/BEP/bep_sami.htm\]](http://qt.tn.tudelft.nl/student/studentprojecten/BEP/bep_sami.htm)



[\[http://www.tu-darmstadt.de/fb/ms/fg/ca/stellen.html\]](http://www.tu-darmstadt.de/fb/ms/fg/ca/stellen.html)

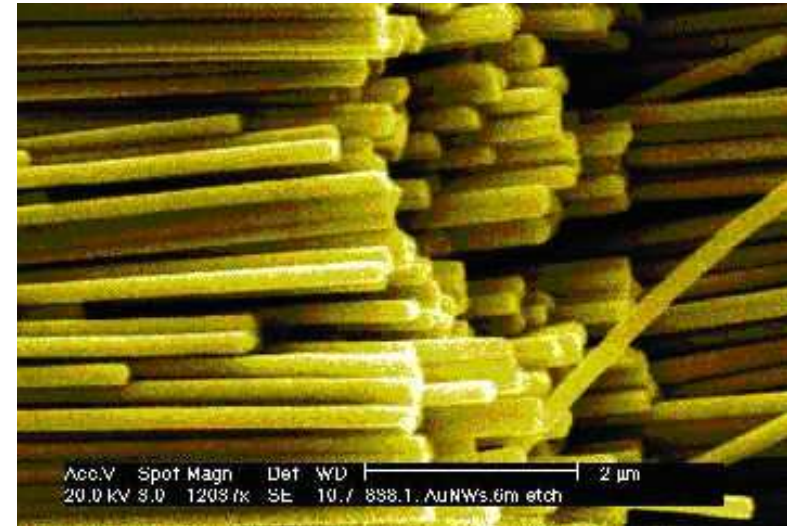
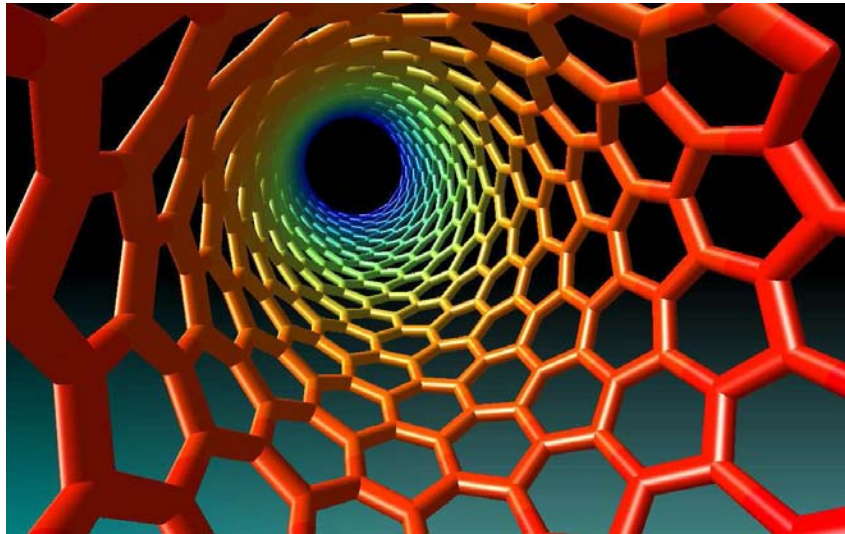
Oberseminarvortrag am II. Physikalischen Institut der Universität zu Köln

14.05.07

Marcus Blab

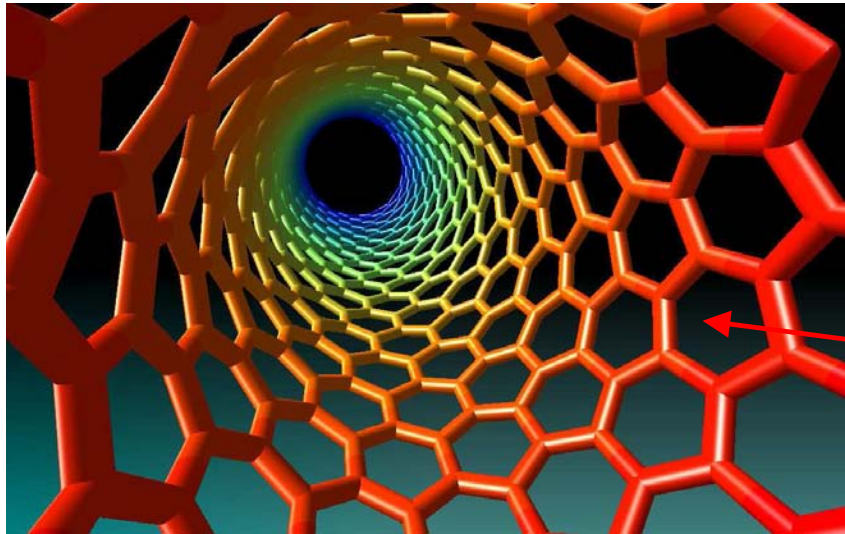
Betreuer: Prof. Dr. Thomas Michely

Was sind Nanoröhrchen / Nanodrähte?



- Einkristalle
- 1dim Objekte
- Röhren / Drähte mit einem Durchmesser von etwa 0,3nm bis 100nm
- Typische Länge: Einige μm , es wurden auch schon mal 20cm erreicht

Aus was bestehen Nanoröhrchen / Nanodrähte?

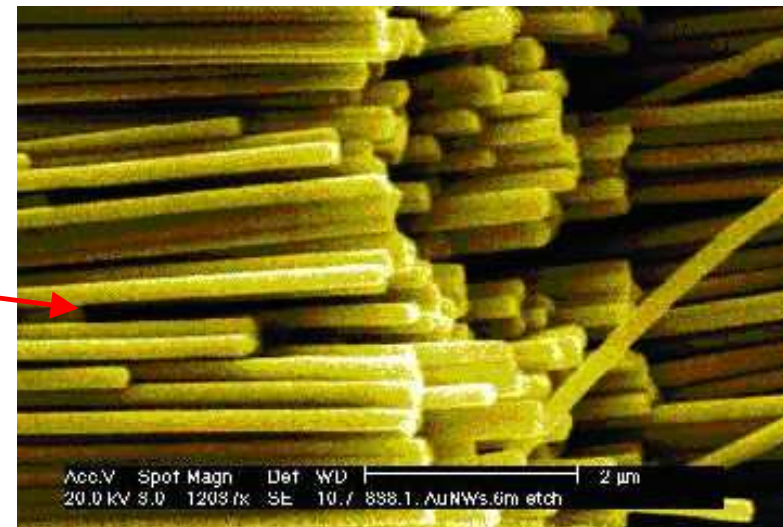


Modell eines
Kohlenstoffnanoröhrchens

- Nanoröhrchen
 - Häufigstes Element Kohlenstoff
 - Bornitrit
 - Sulfatverbindungen (z.B. mit Molybdän, Kupfer)
 - Halogenverbindungen (z.B.: Nickelchlorid)

Aus was bestehen Nanoröhrchen / Nanodrähte?

Gold – Nanodrähte

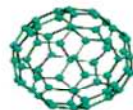
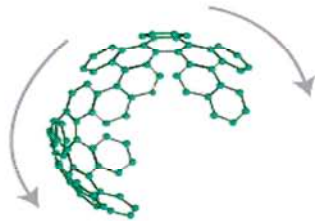
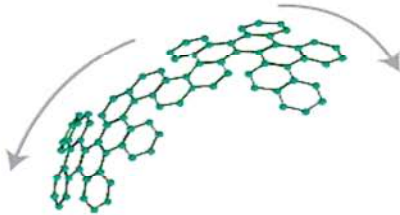
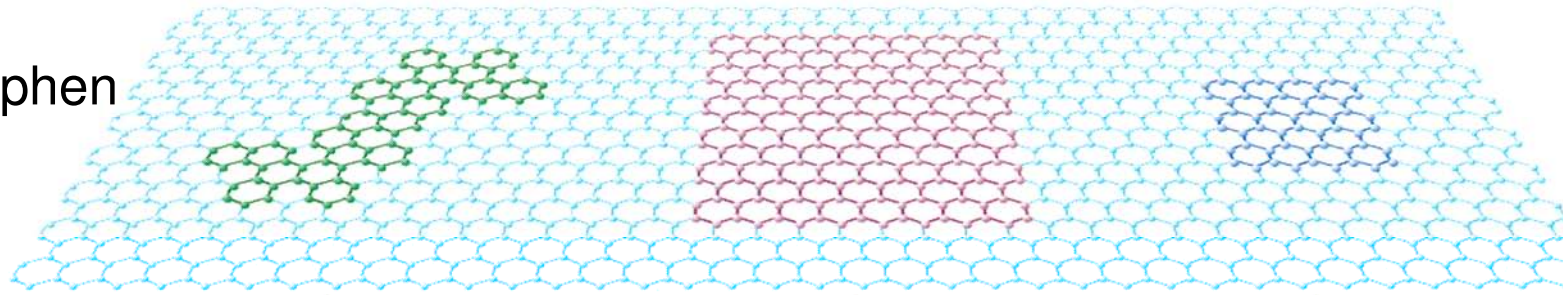


- Nanodrähte:
 - Halbleiter: Si, GaAs, ...
 - Oxide: ZnO
 - Metalle: Cu, Ag, Au, Alkalimetalle

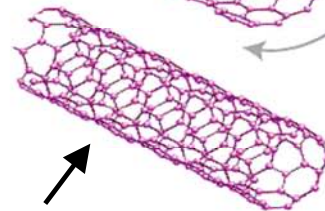
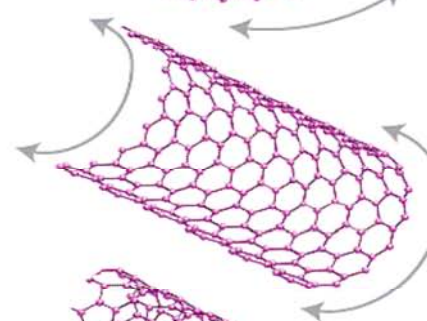
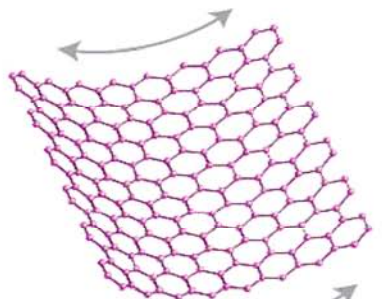
Inhalt

- Herstellung
 - Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT)
 - Nanodrähten
- Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von Kohlenstoff-Nanoröhrchen
 - Elektrische Eigenschaften
 - Nanotube Feld-Effekt-Transistor
 - Mechanische Eigenschaften
 - Nanogarn
- Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von Nanodrähten
 - Optische Eigenschaften
 - Nanolaser

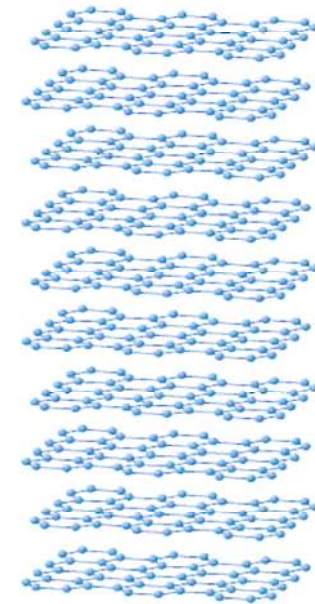
Graphen



Fulleren

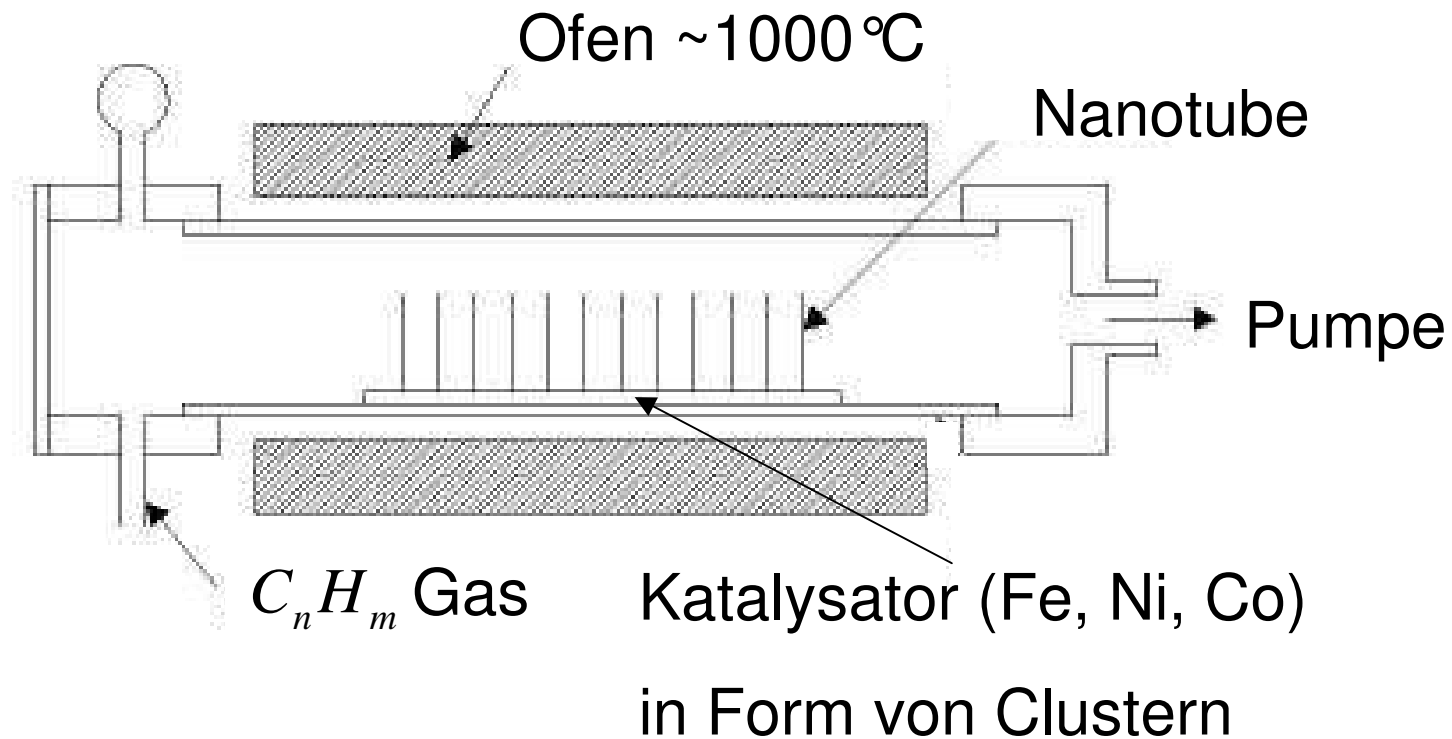


Nanoröhrchen



Graphit

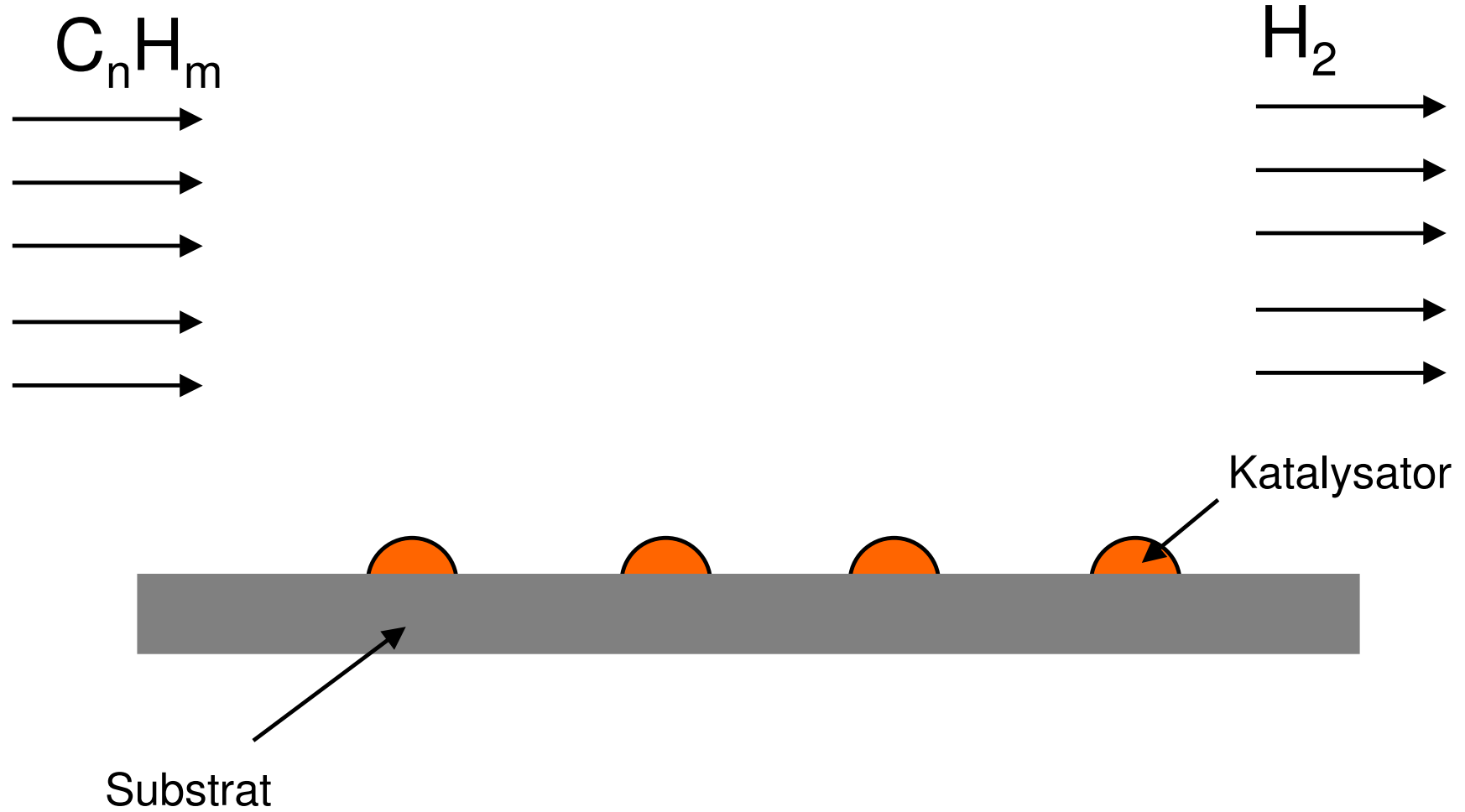
Chemical Vapor Deposition



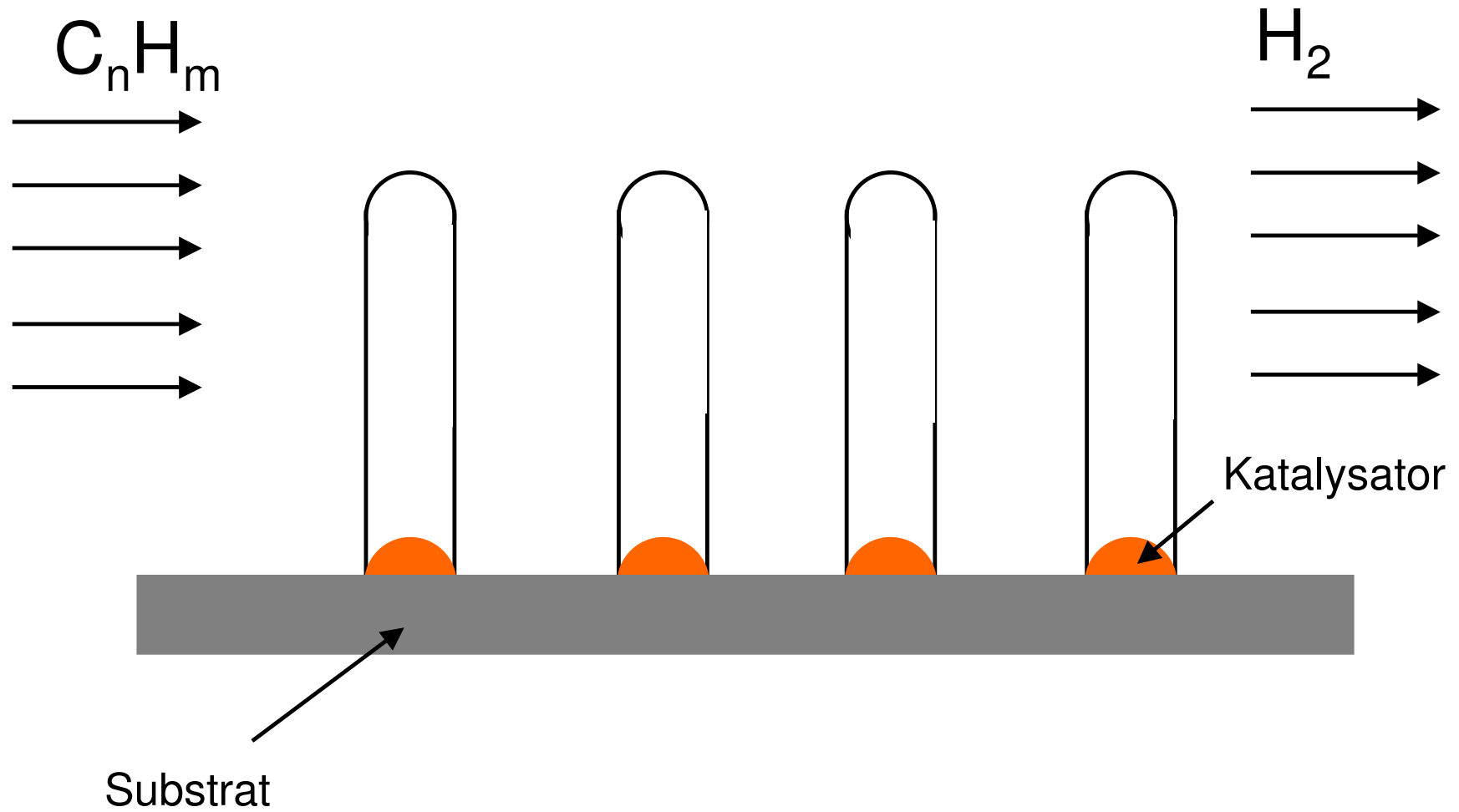
Mechanismus



Mechanismus

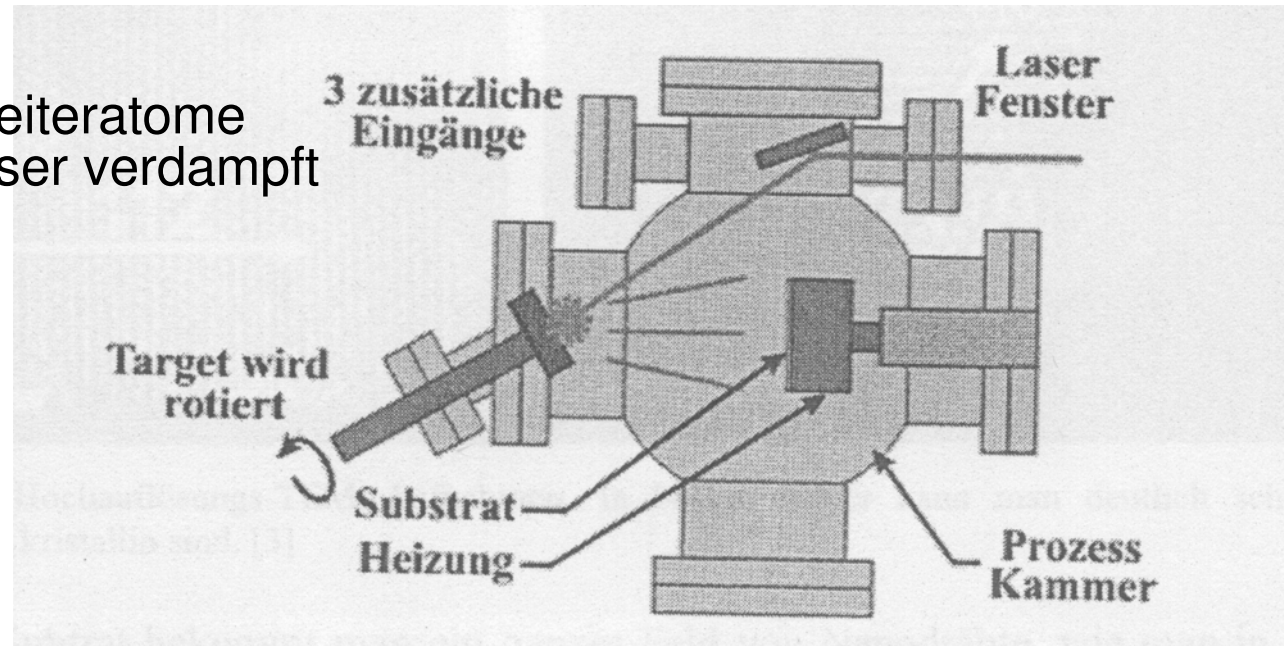


Mechanismus



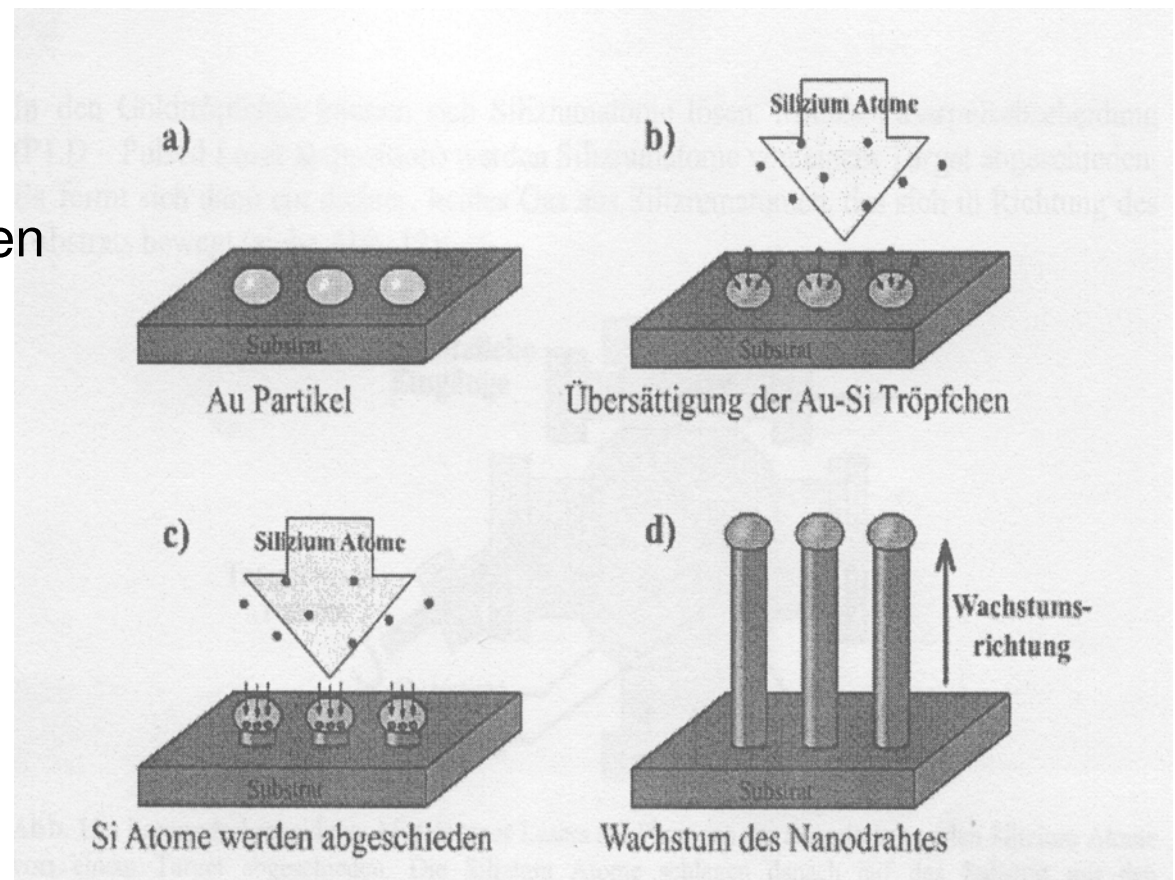
Herstellung der Nanodrähte mittels der Vapor – Liquid – Solid Methode

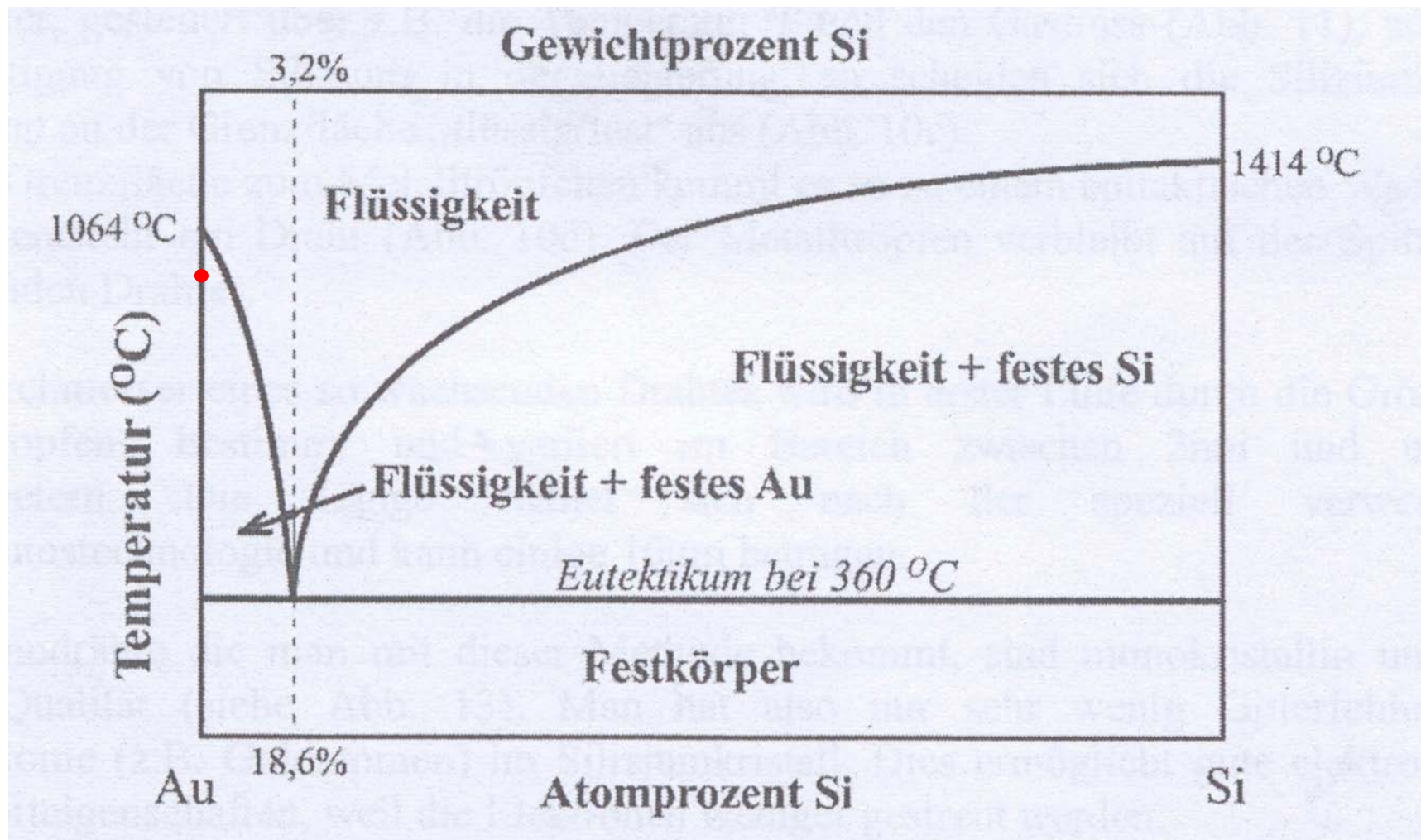
- Substrat mit Gold bedampft
1000 °C, Cluster
- Metall- oder Halbleiteratome
werden mittels Laser verdampft

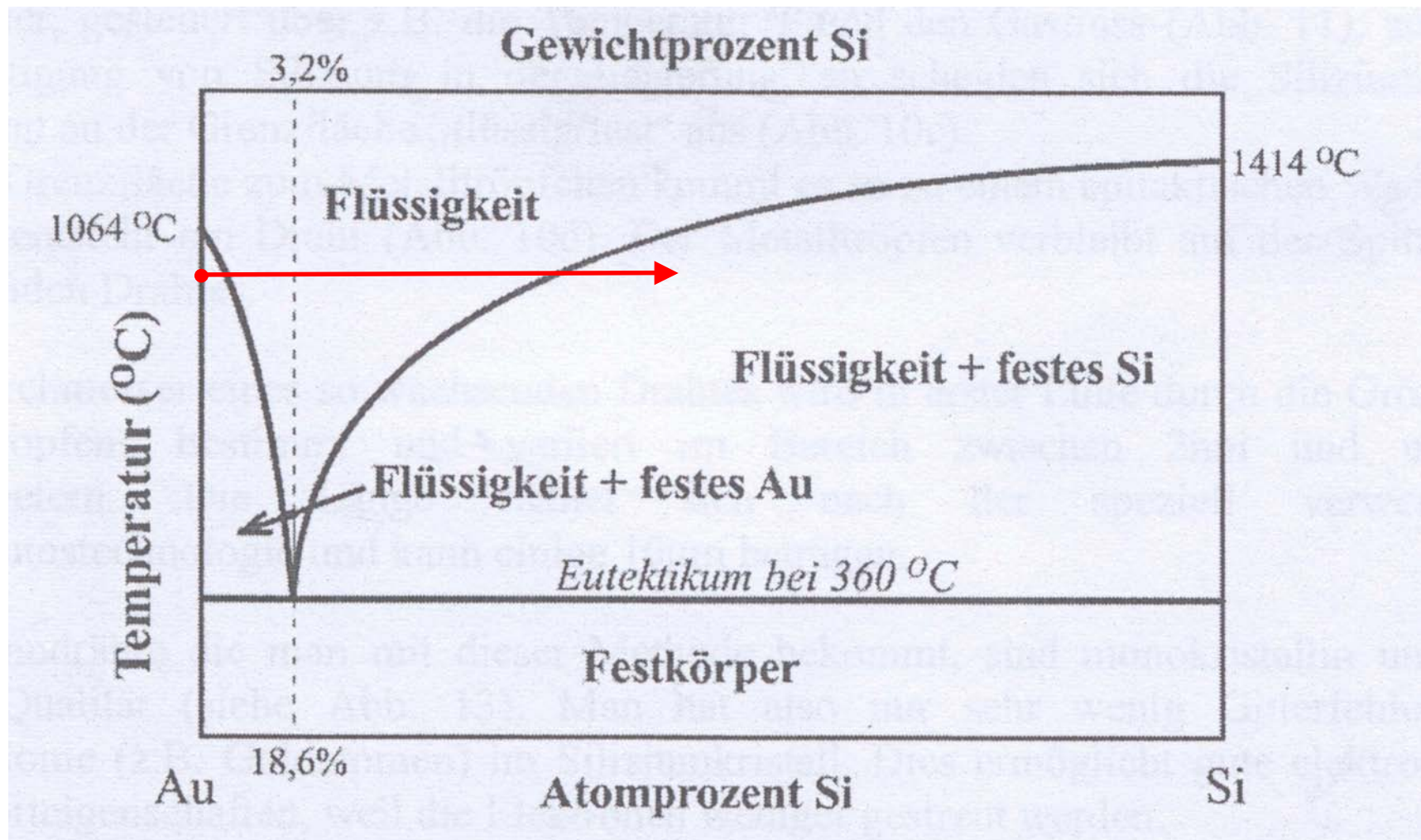


Herstellung der Nanodrähte mittels der Vapor – Liquid – Solid Methode

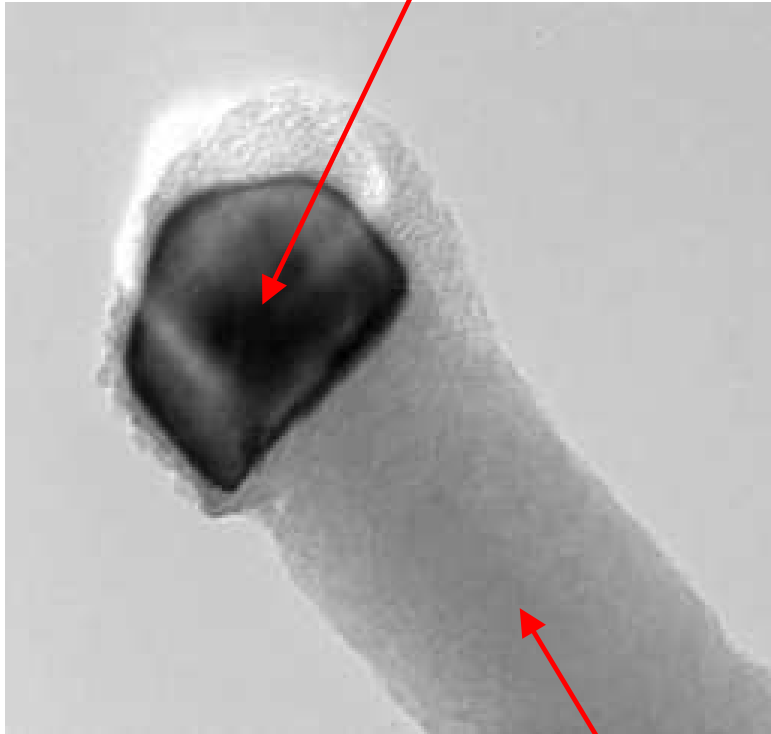
- Atome lösen sich im geschmolzenen Gold
- Bei gesättigter Lösung setzen sich die Atome am Substrat ab.
- Wachstum der Nanodrähte







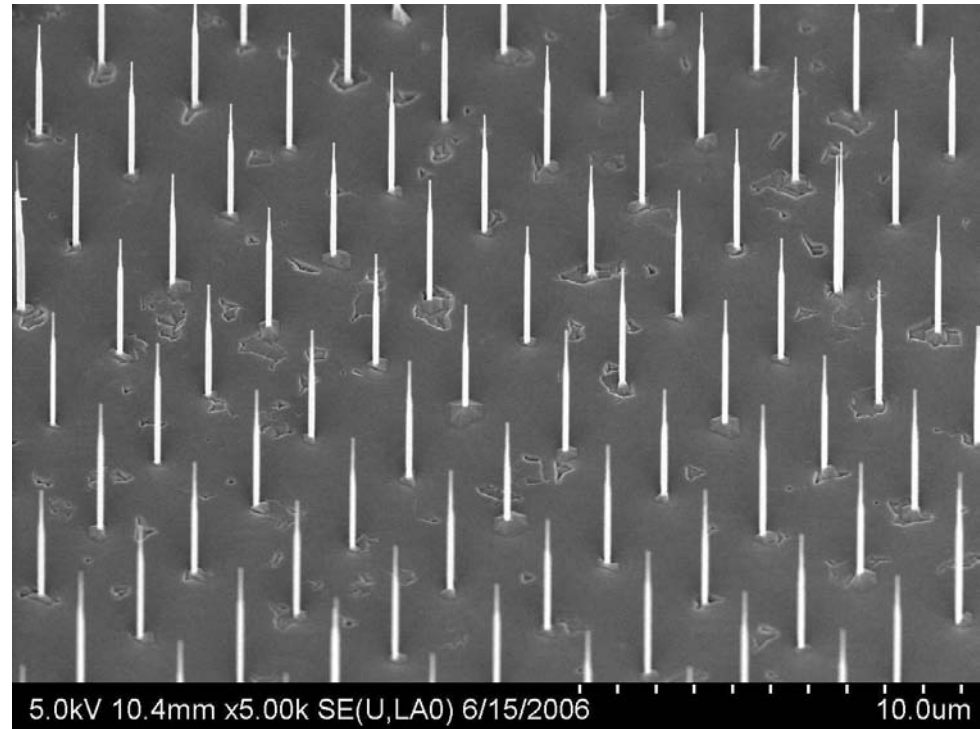
Goldtröpfchen



[\[http://research.yale.edu/ysm/article.jsp?articleID=486\]](http://research.yale.edu/ysm/article.jsp?articleID=486)

Nanodraht

Substrat mit Nanodrähten



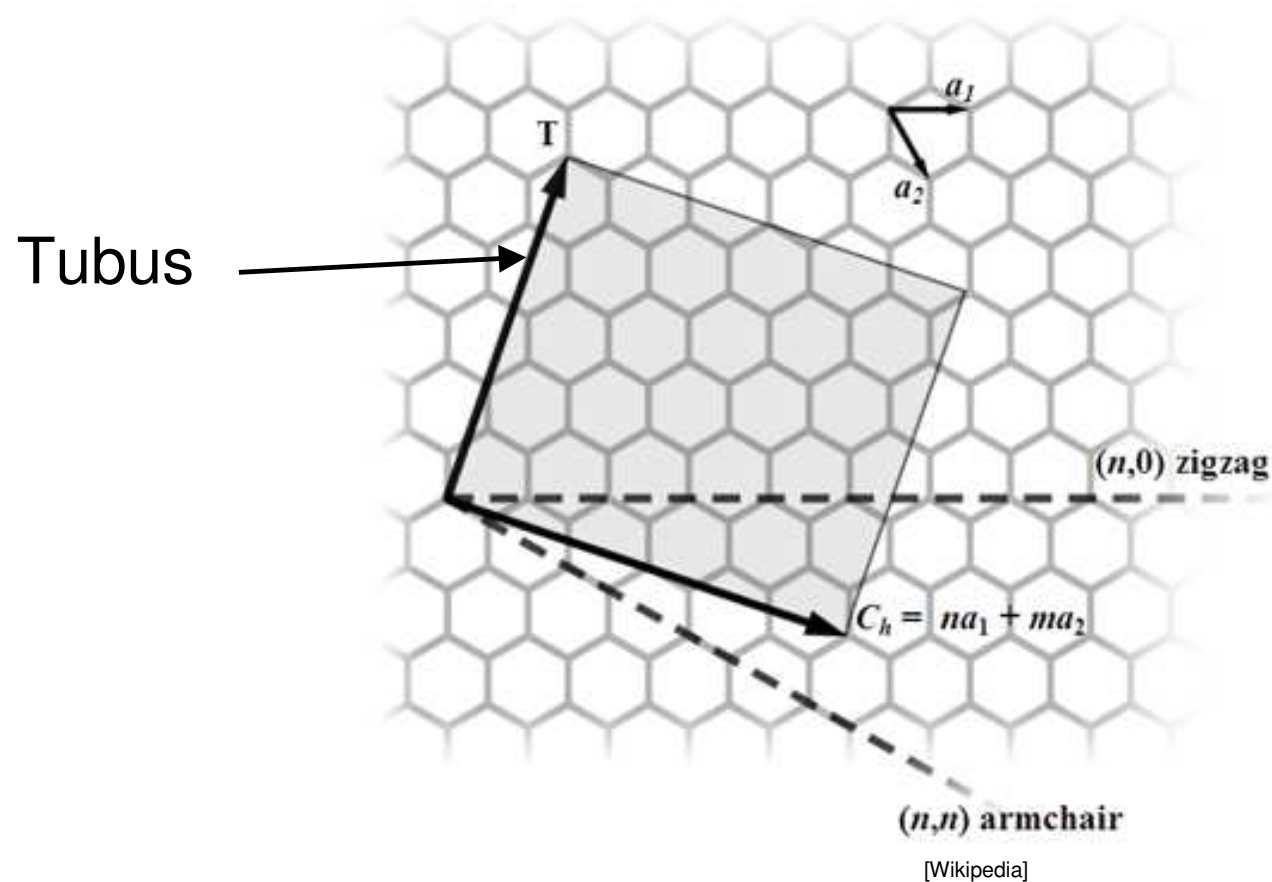
[\[http://www.lpn.cnrs.fr/en/ELPHYSE/FaitsMarquants/FM_ELPHYSE_Resonano.php\]](http://www.lpn.cnrs.fr/en/ELPHYSE/FaitsMarquants/FM_ELPHYSE_Resonano.php)

Eigenschaften von Kohlenstoff - Nanoröhrchen

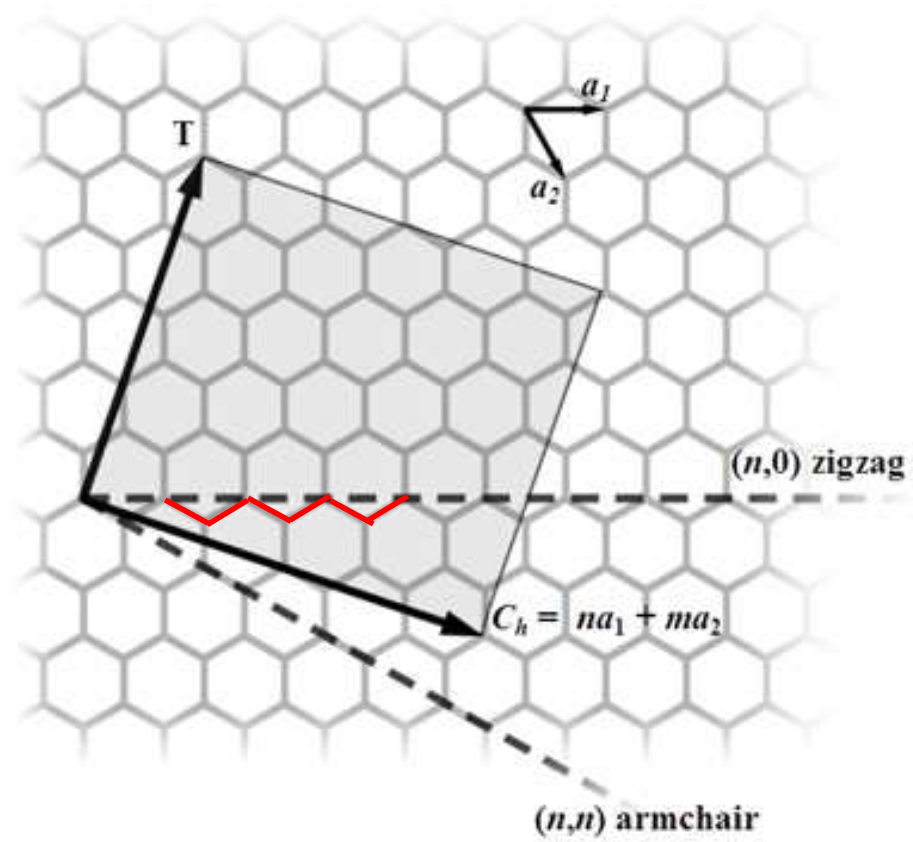
- Elektrische Eigenschaften
 - Aufrollrichtung
 - Metallische oder halbleitende Eigenschaften
- Anwendungsbeispiel: Transistor

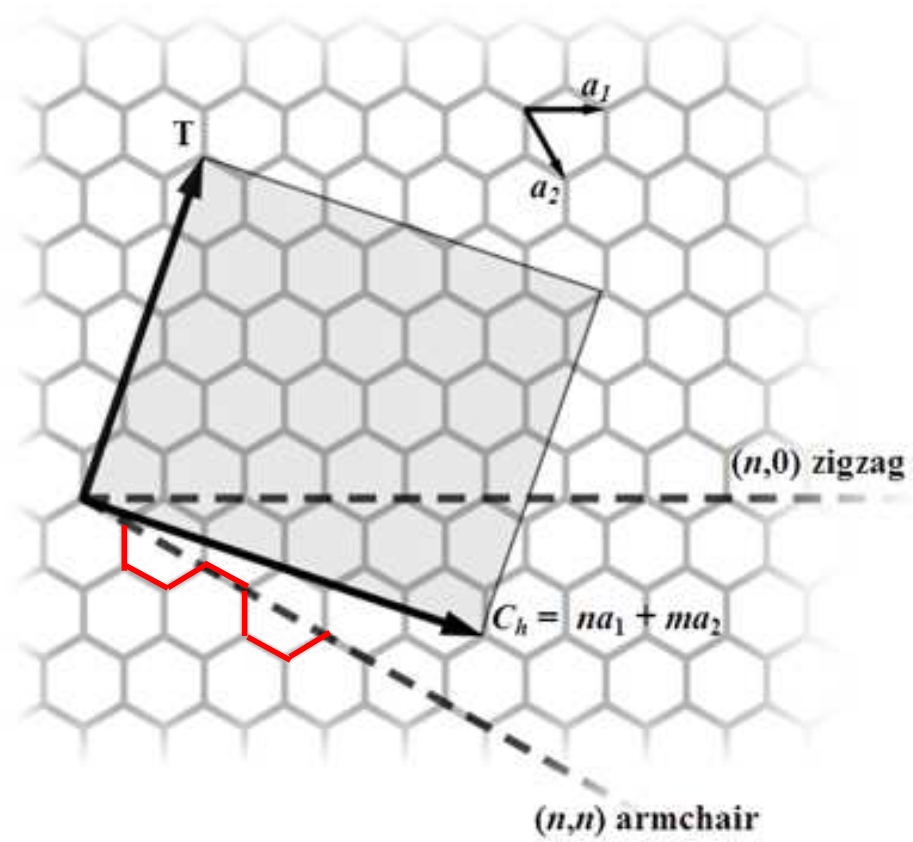
- Mechanische
 - Zugfestigkeit
 - Flexibilität
- Anwendungsbeispiel: Nanogarn

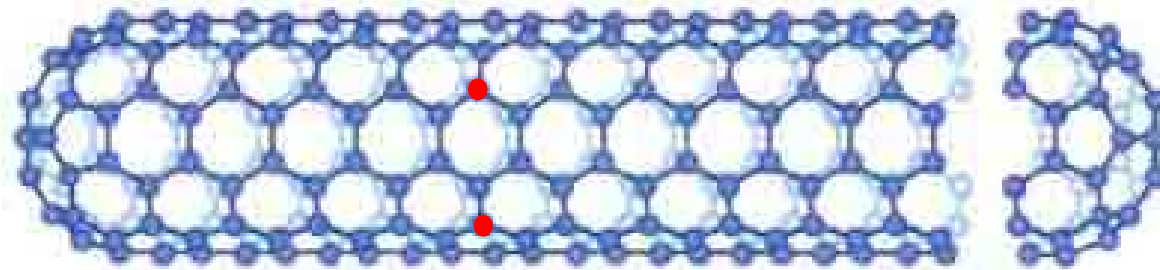
Aufrollrichtung



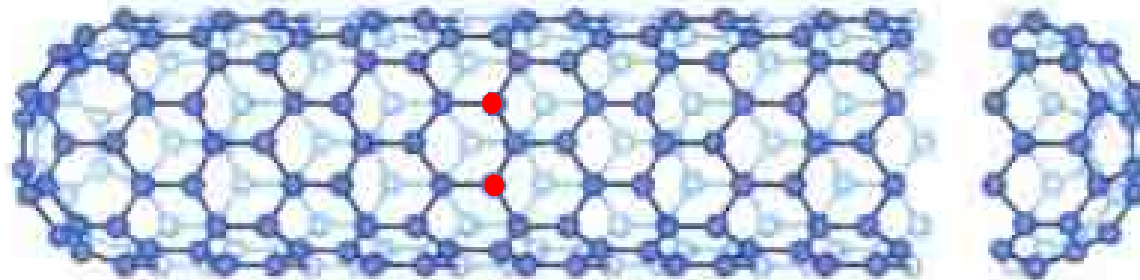
(n,m) gibt die Aufrollrichtung bzgl. der Vektoren a_1 und a_2 an.



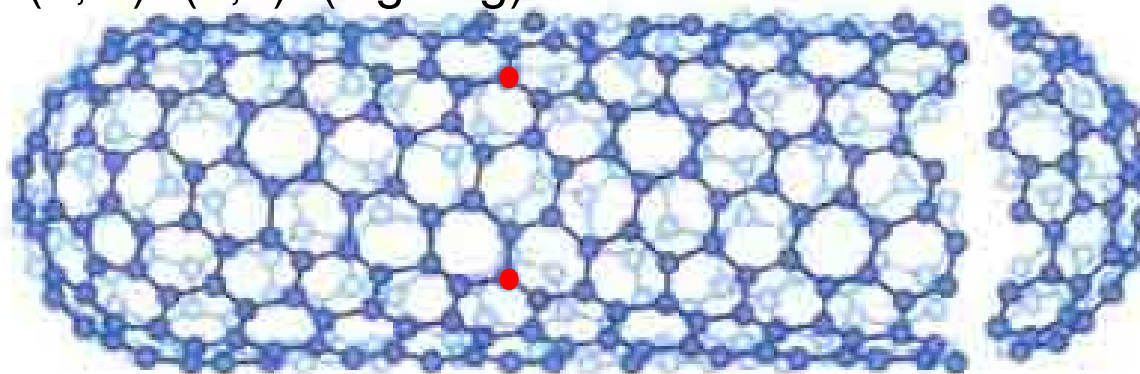




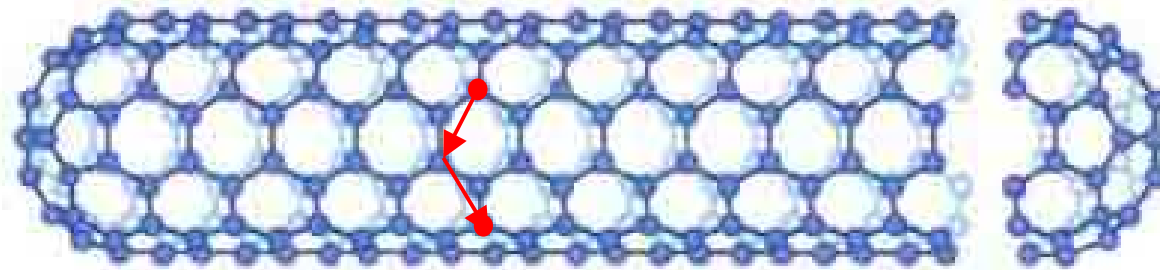
$(n,m)=(5,5)$ (armchair)



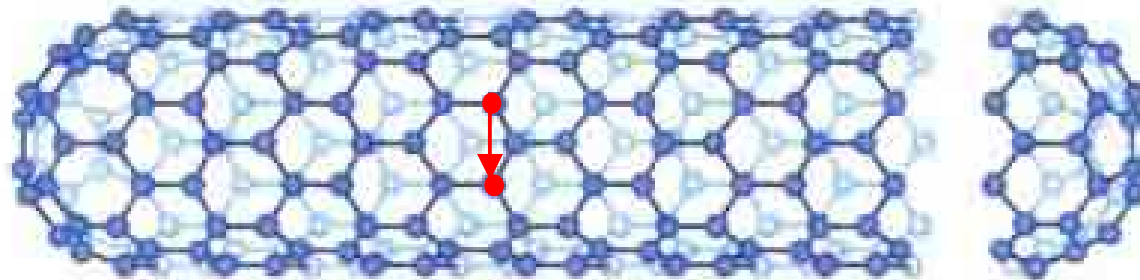
$(n,m)=(9,0)$ (zig-zag)



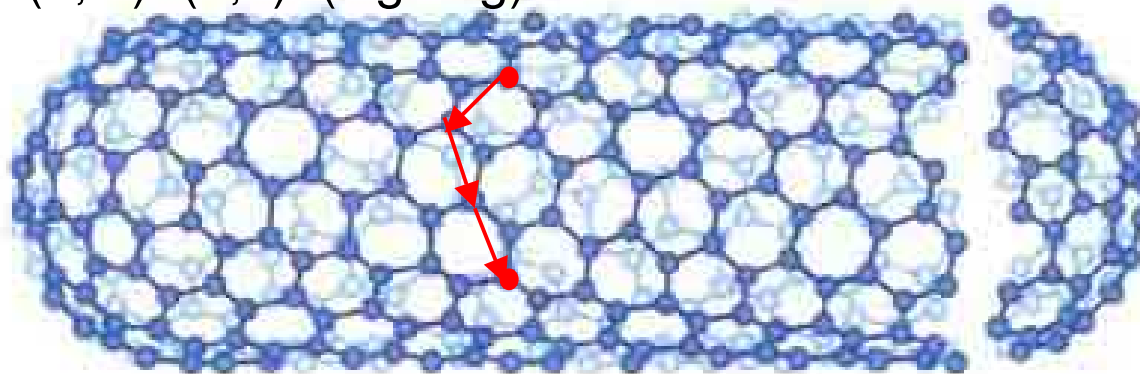
$(n,m)=(10,5)$



$(n,m)=(5,5)$ (armchair)

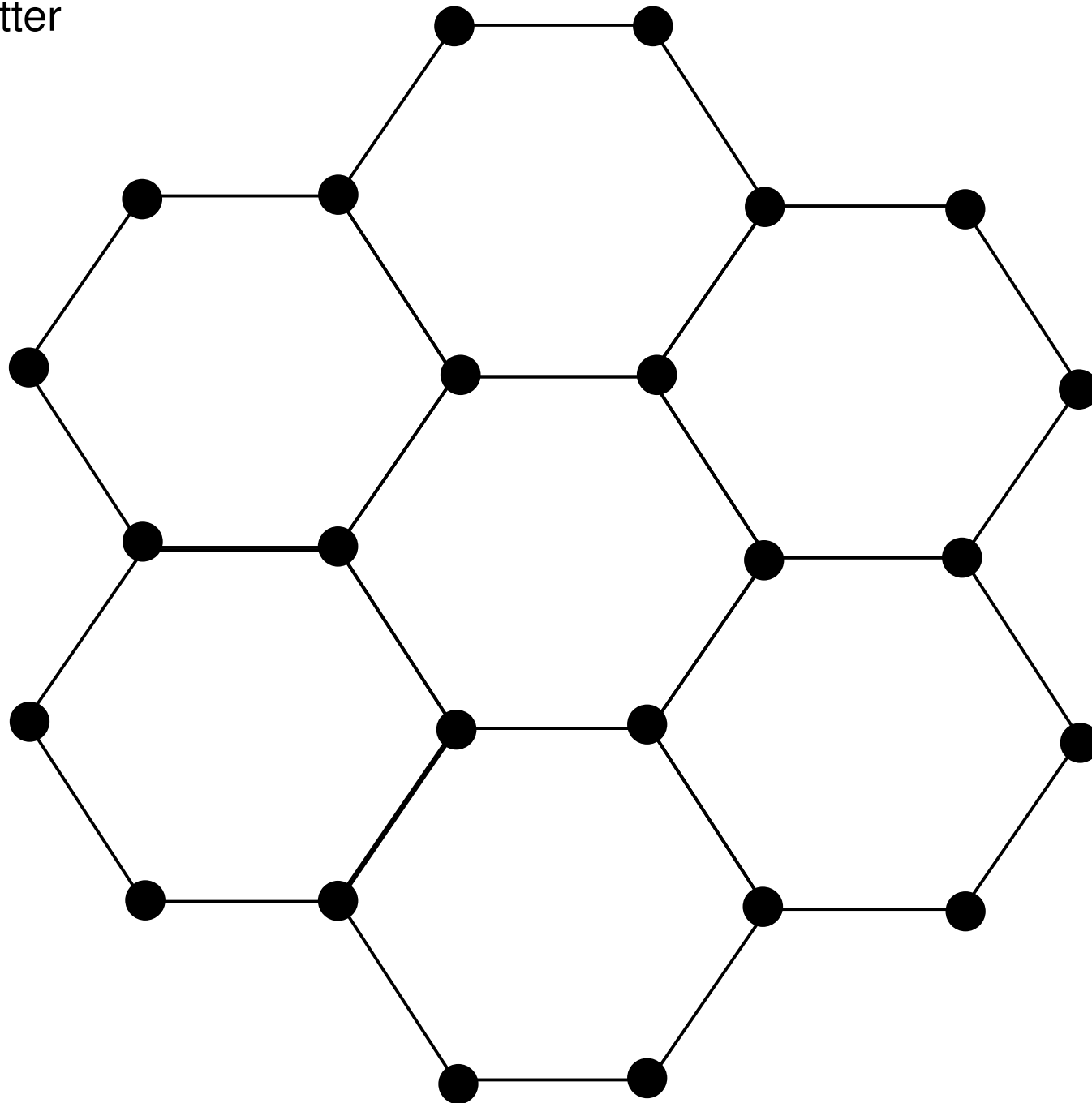


$(n,m)=(9,0)$ (zig-zag)

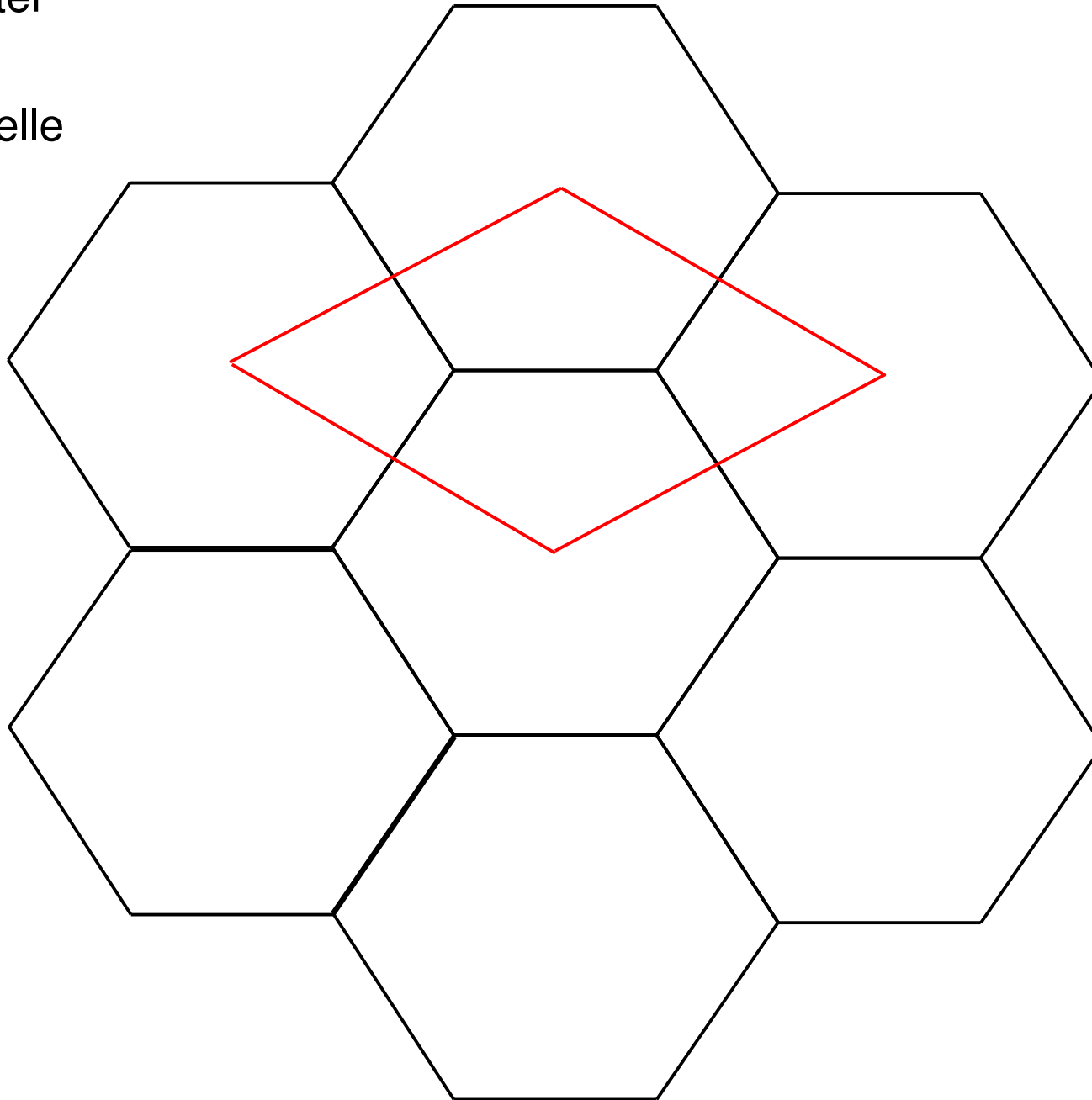


$(n,m)=(10,5)$

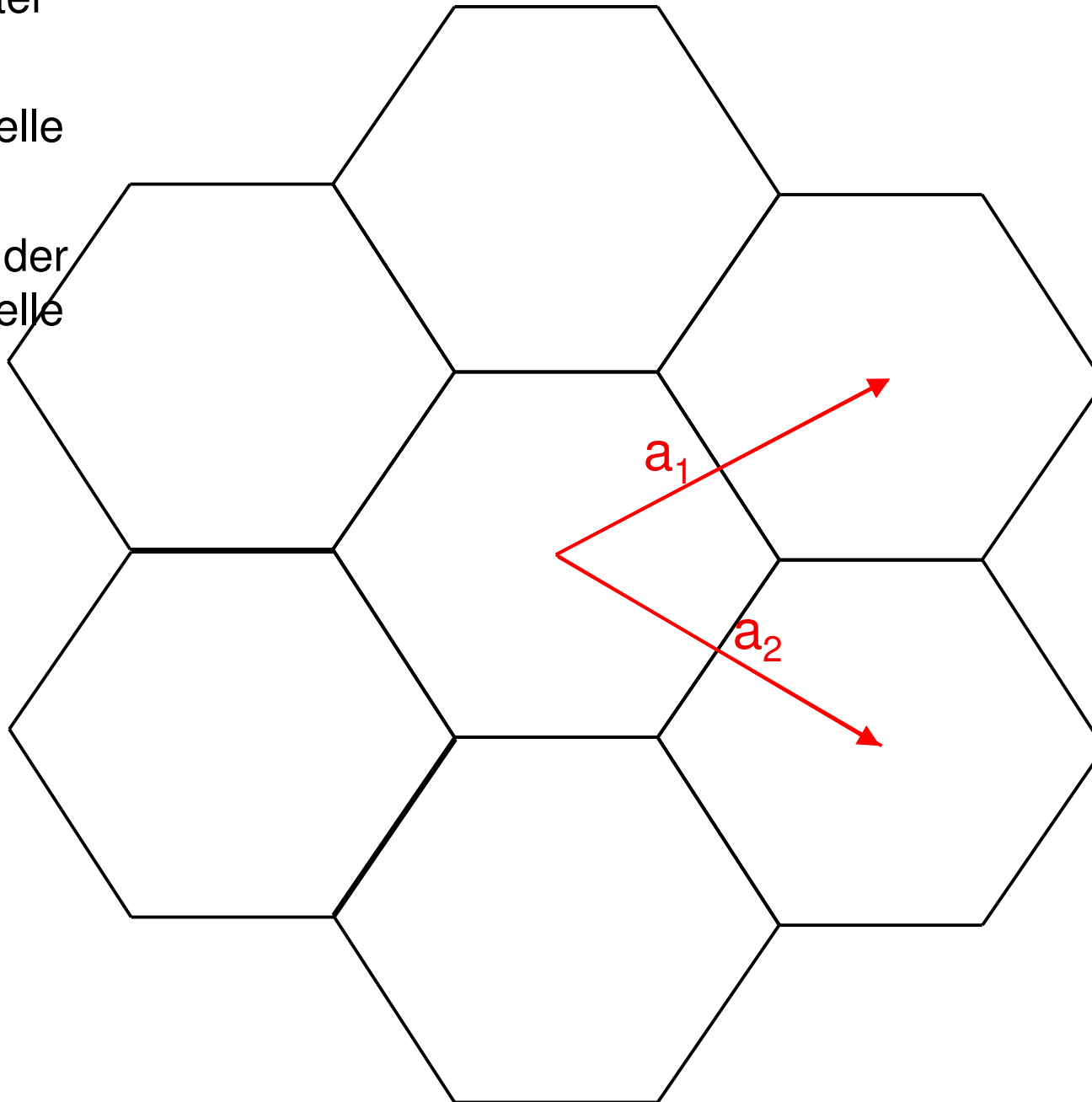
- Kristallgitter



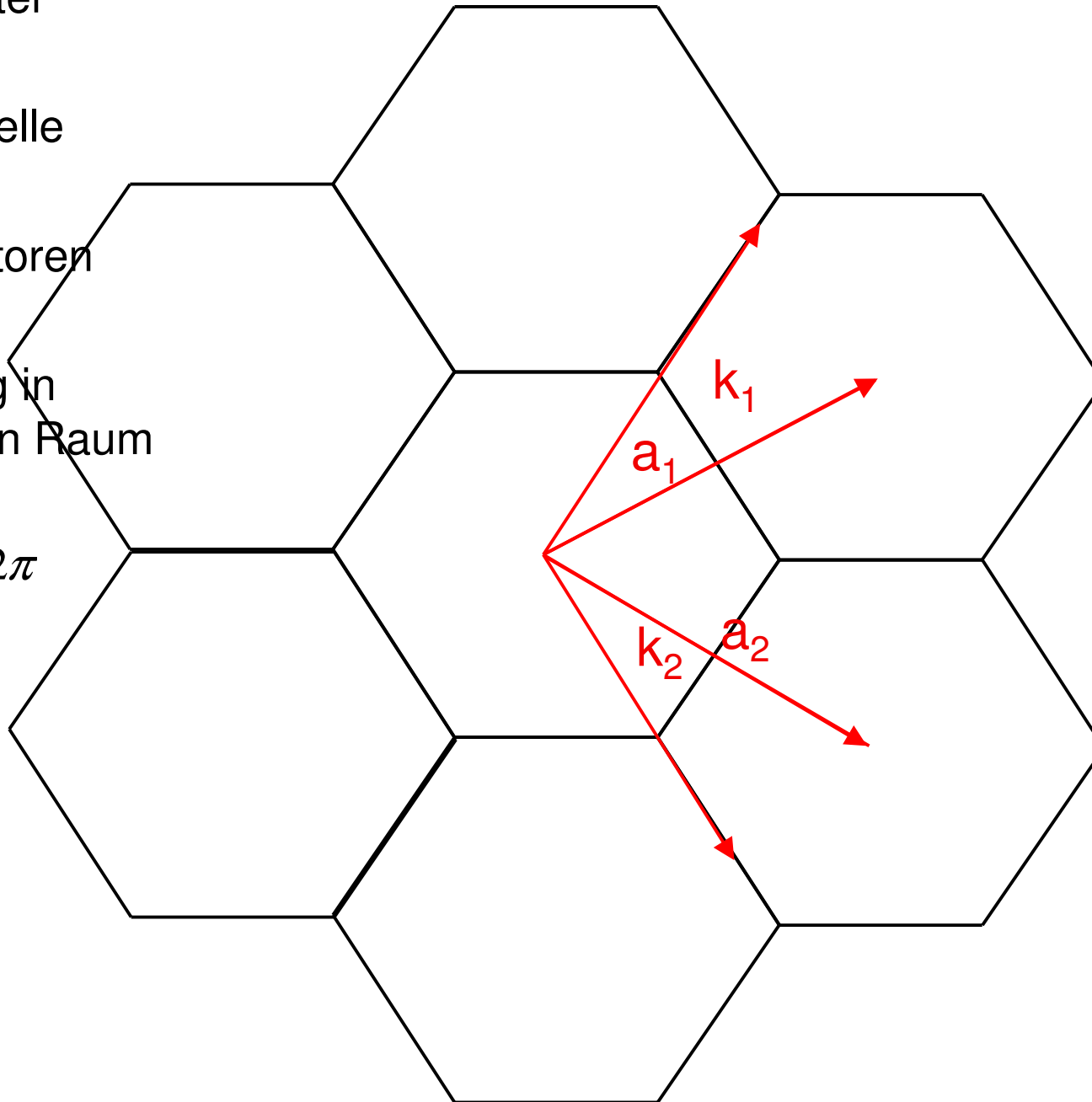
- Kristallgitter
- Einheitszelle



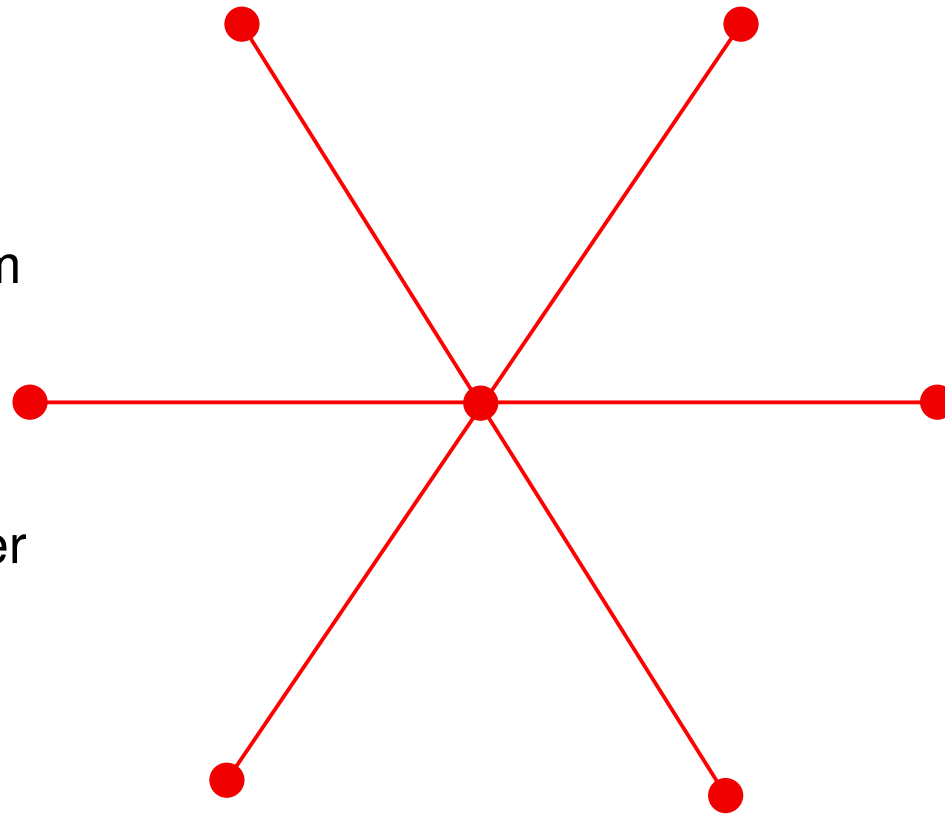
- Kristallgitter
- Einheitszelle
- Vektoren der Einheitszelle



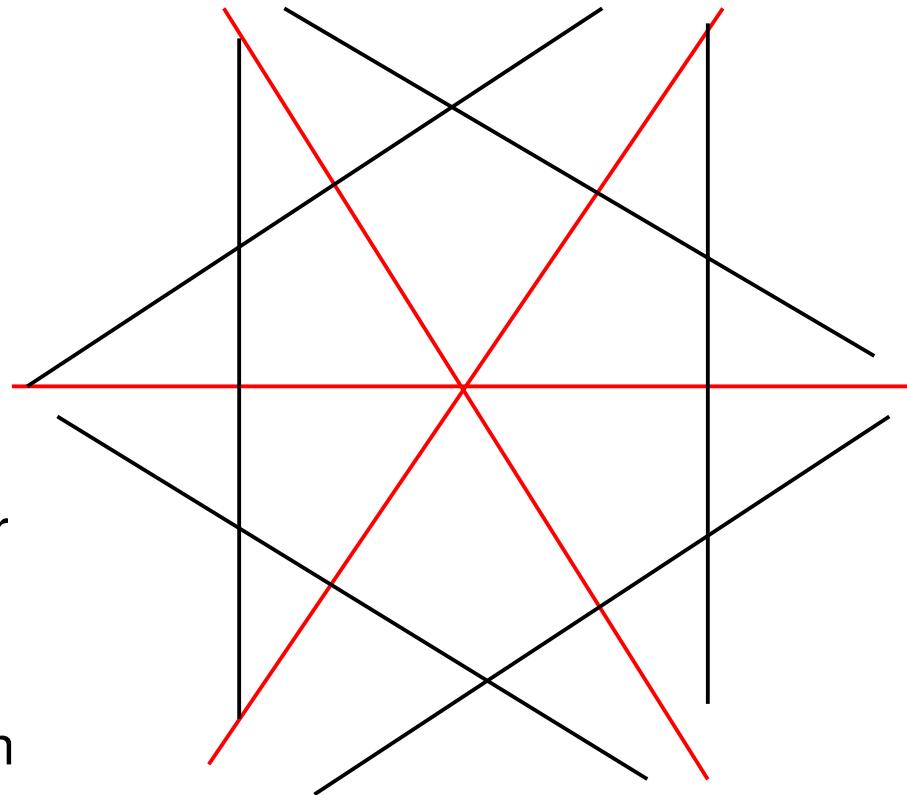
- Kristallgitter
- Einheitszelle
- Basisvektoren
- Übergang in reziproken Raum
- $k_i a_j = \delta_{ij} 2\pi$



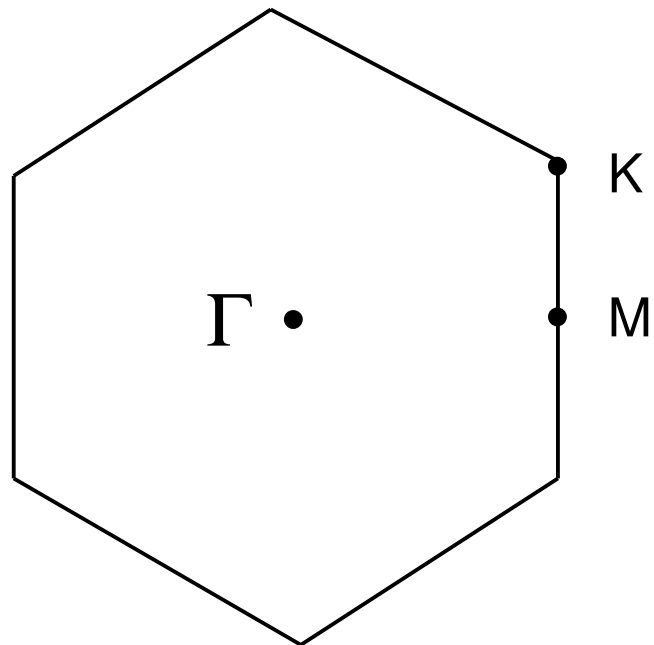
- Kristallgitter
- Einheitszelle
- Basisvektoren
- Übergang in reziproken Raum
- $\mathbf{k}_i \mathbf{a}_j = \delta_{ij} 2\pi$
- Reziprokes Gitter



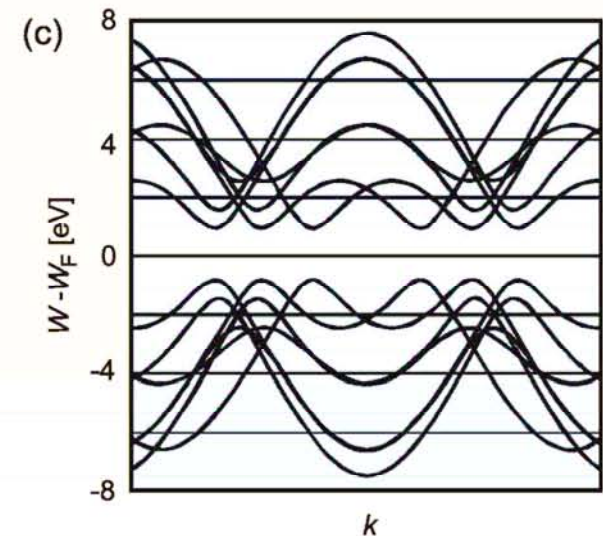
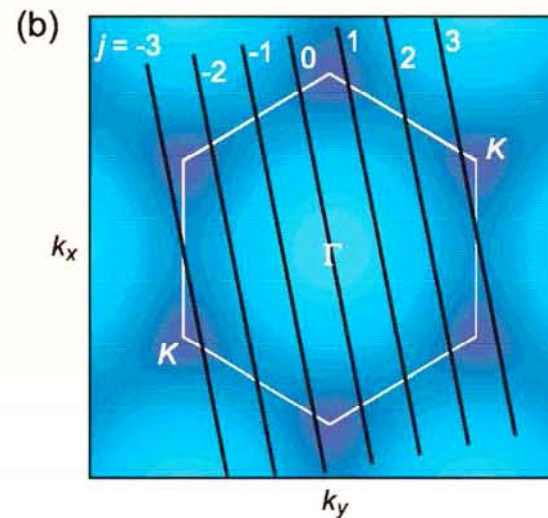
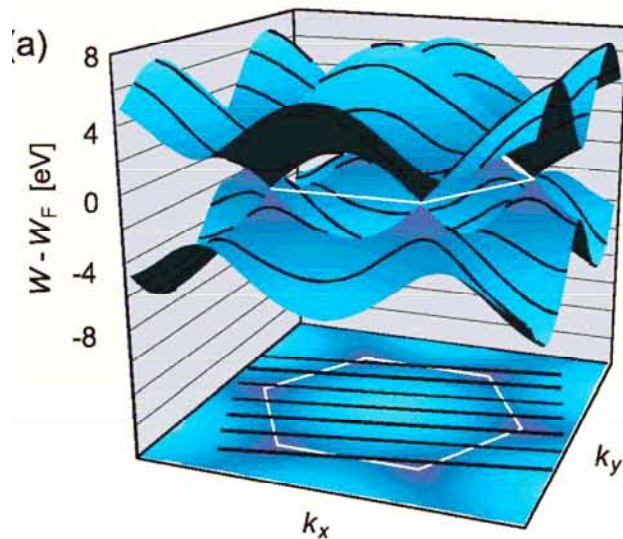
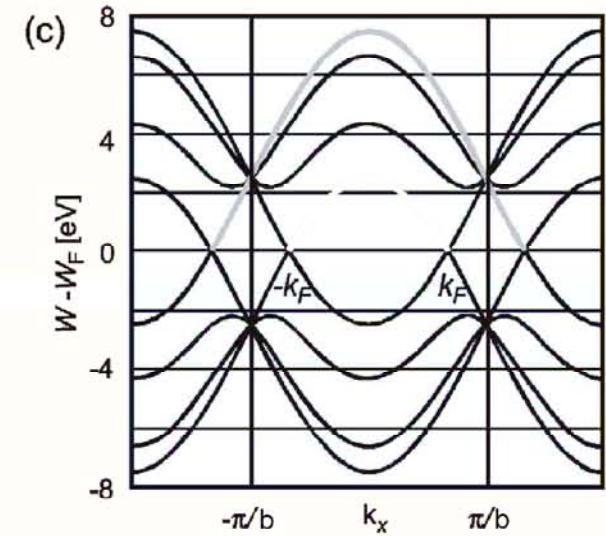
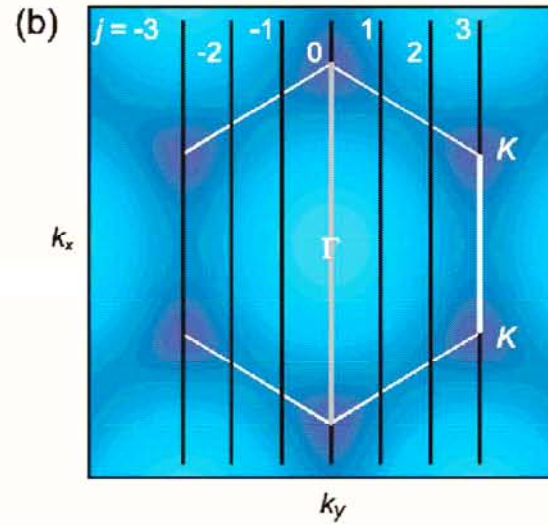
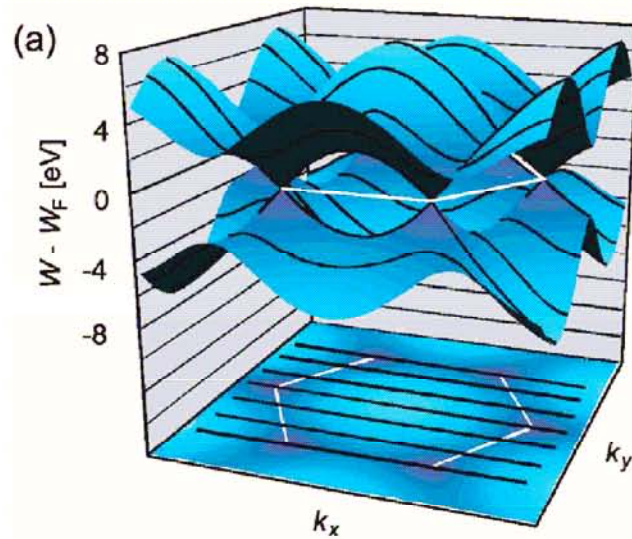
- Kristallgitter
- Einheitszelle
- Basisvektoren
- Übergang in reziproken Raum
- $\mathbf{k}_i \mathbf{a}_j = \delta_{ij} 2\pi$
- Reziprokes Gitter
- Verbindung der Mittelsenkrechten

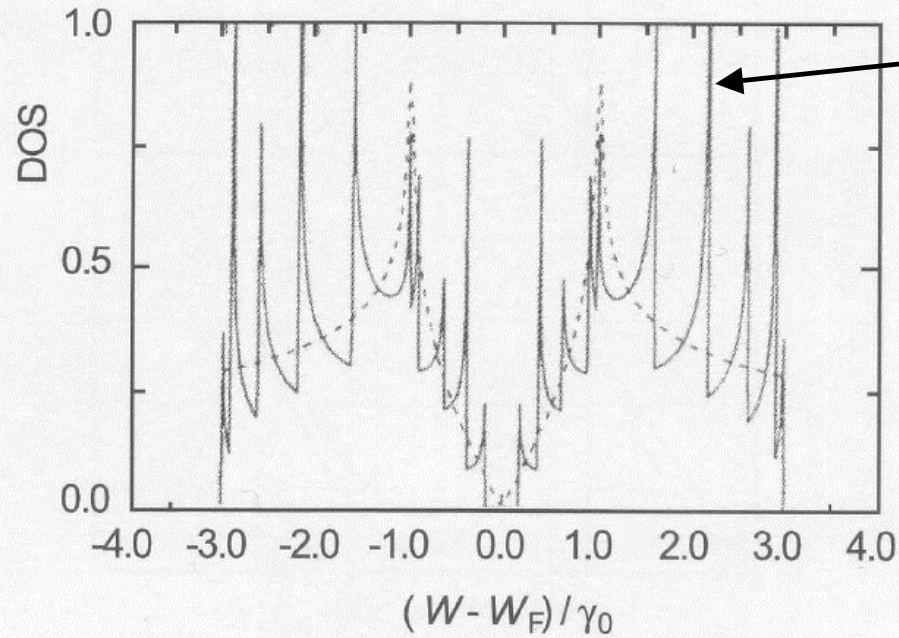


- Kristallgitter
- Einheitszelle
- Basisvektoren
- Übergang in reziproken Raum
- $\mathbf{k}_i \mathbf{a}_j = \delta_{ij} 2\pi$
- Reziprokes Gitter
- Verbindung der Mittelsenkrechten
- 1. Brillouinzone



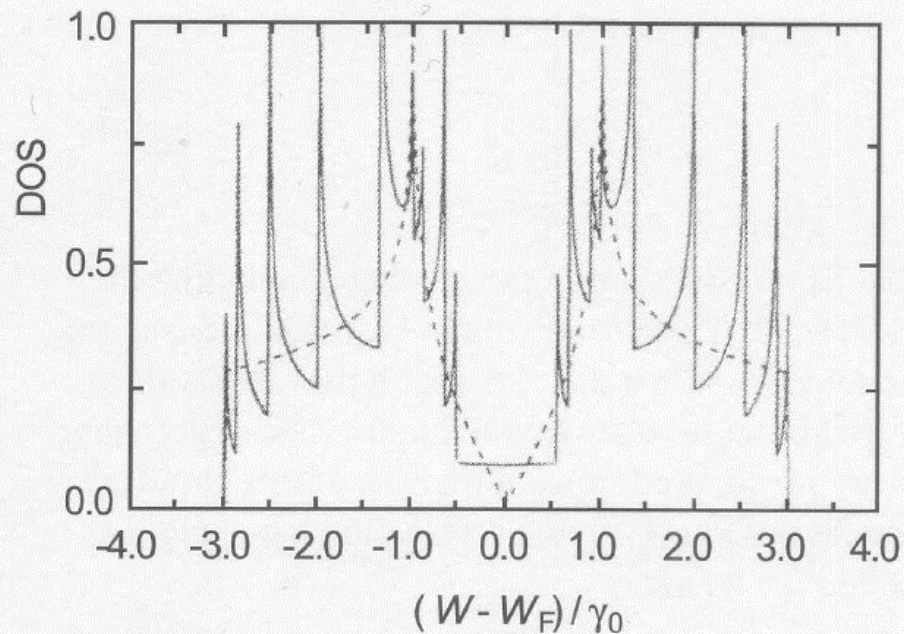
Beispiele: oben (3,3) und unten (4,2)



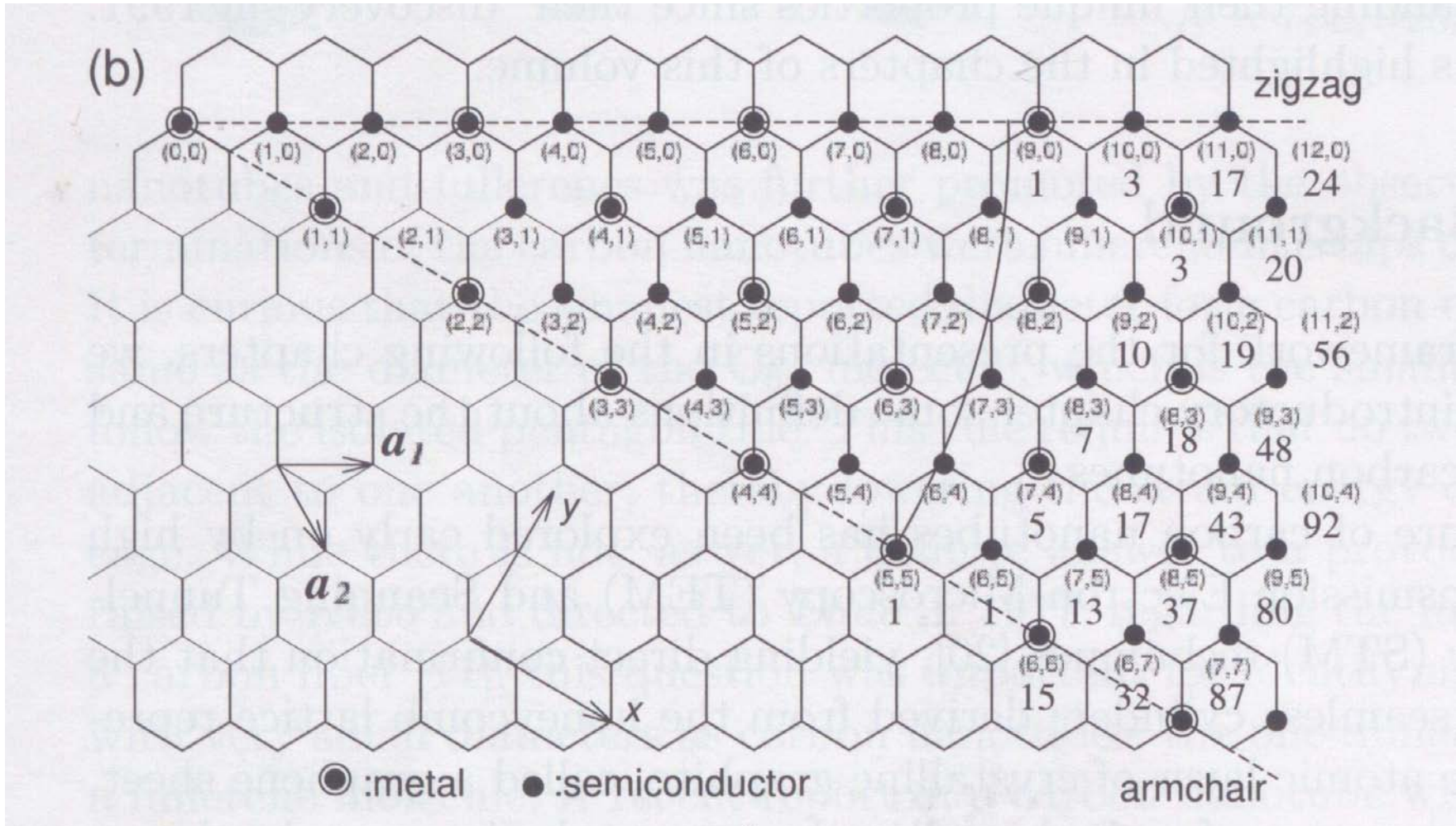


Van - Hove Singularitäten

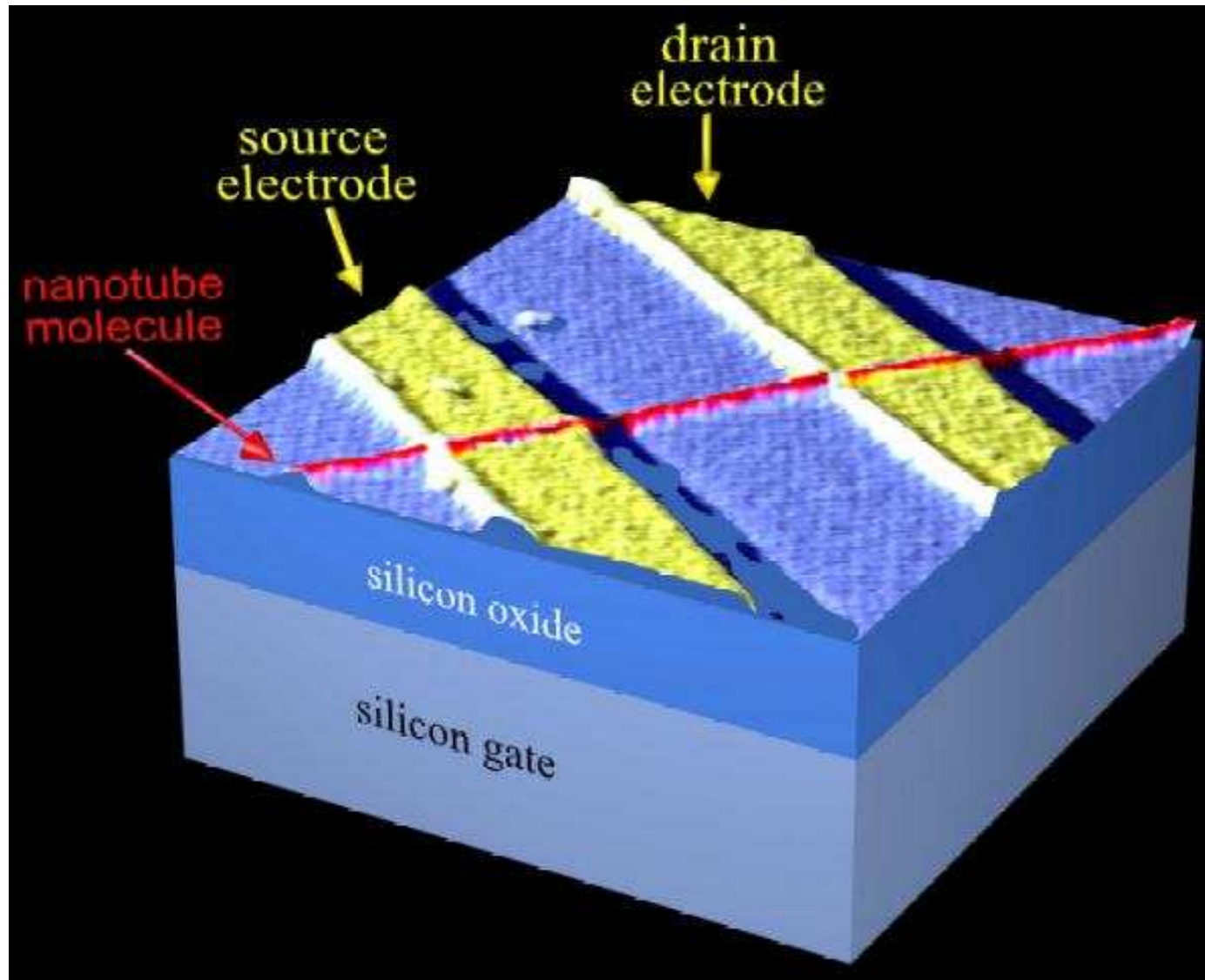
Zustandsdichte eines
halbleitenden (10,0) und eines
leitenden (9,0) Nanoröhren

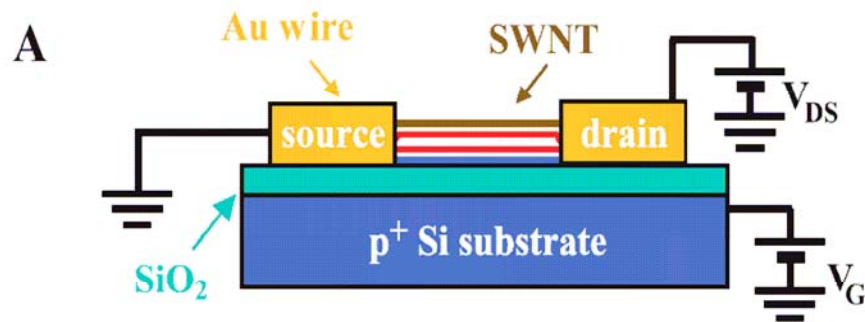


Leitende oder Halbleitende Nanoröhrchen?

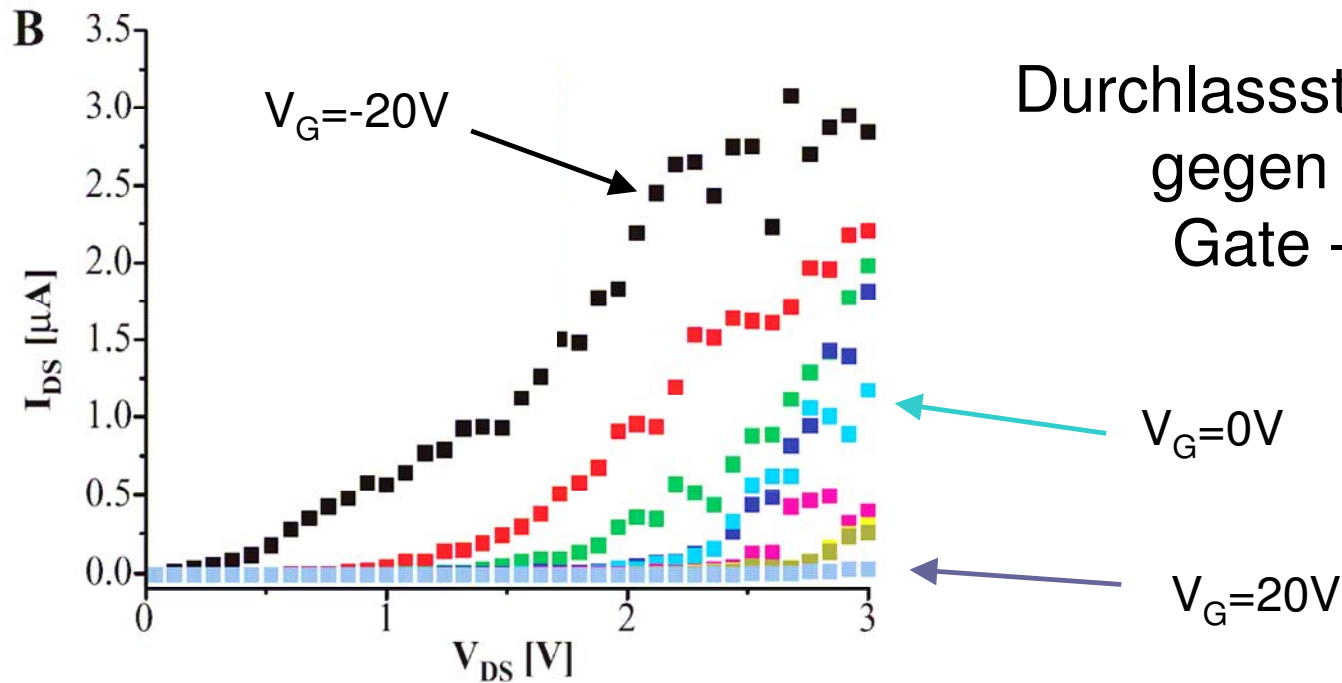


Transistor





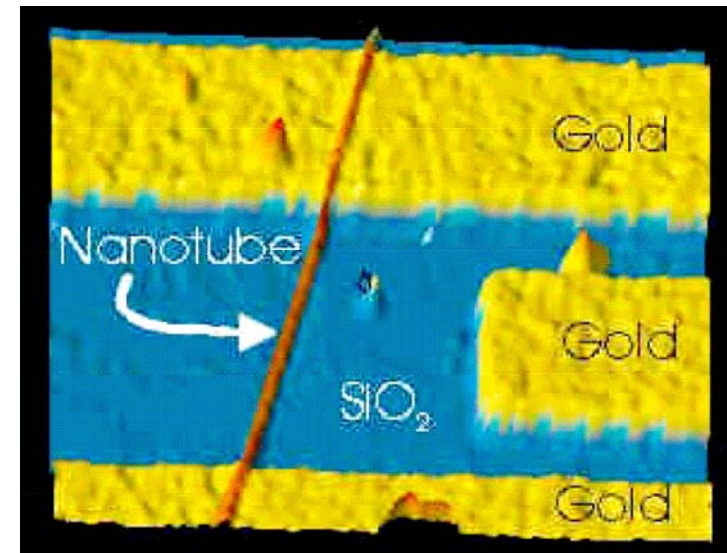
Aufbau eines Transistors
mit einem SWNT



Durchlassstrom aufgetragen
gegen Drain - und
Gate - Spannung

Wozu braucht man CNT Transistoren?

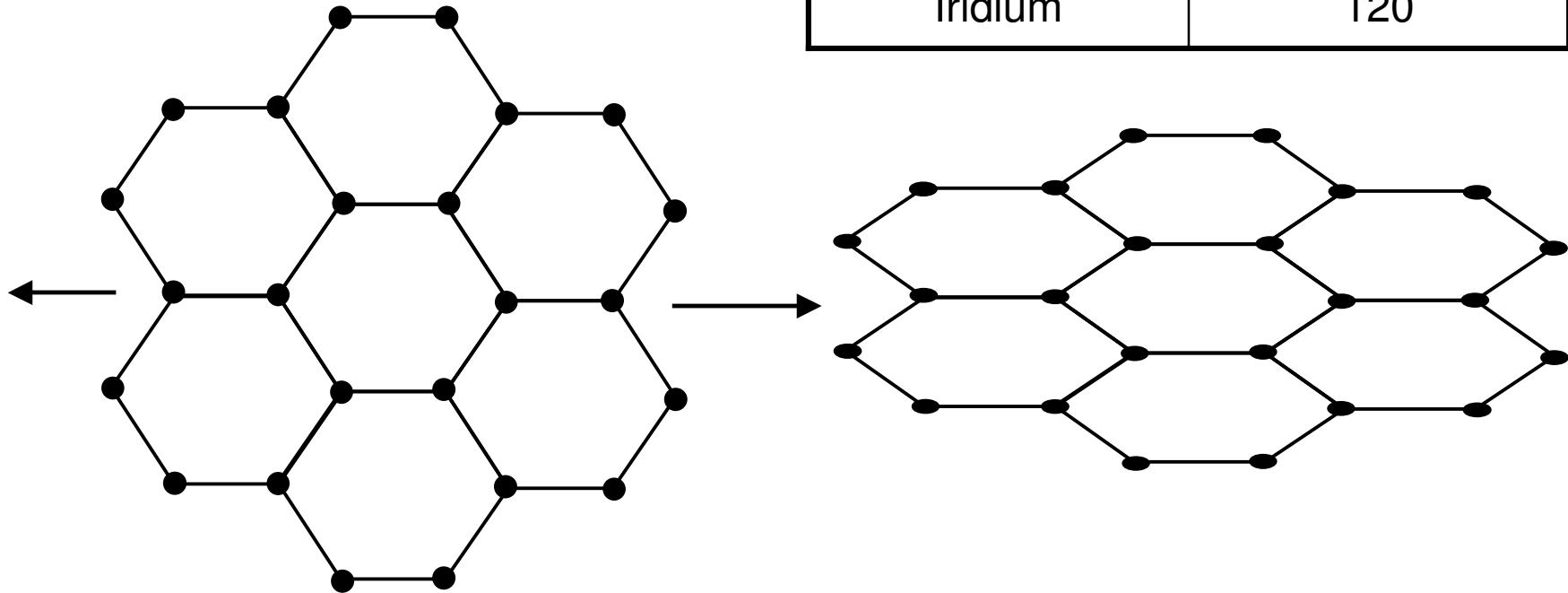
- 1dim Leiter $\Rightarrow$ sehr gute Leitfähigkeit
- Geringe Versorgungsspannung 0,4V (heute:0,7V)
- Moderne Transistoren:
Schaltwiderstand von $20\text{m}\Omega/\text{mm}^2$
und Stromdichten von 2000 A/cm^2
- CNT Transistoren 20mal geringeren Schaltwiderstand und 200mal höhere Stromdichte



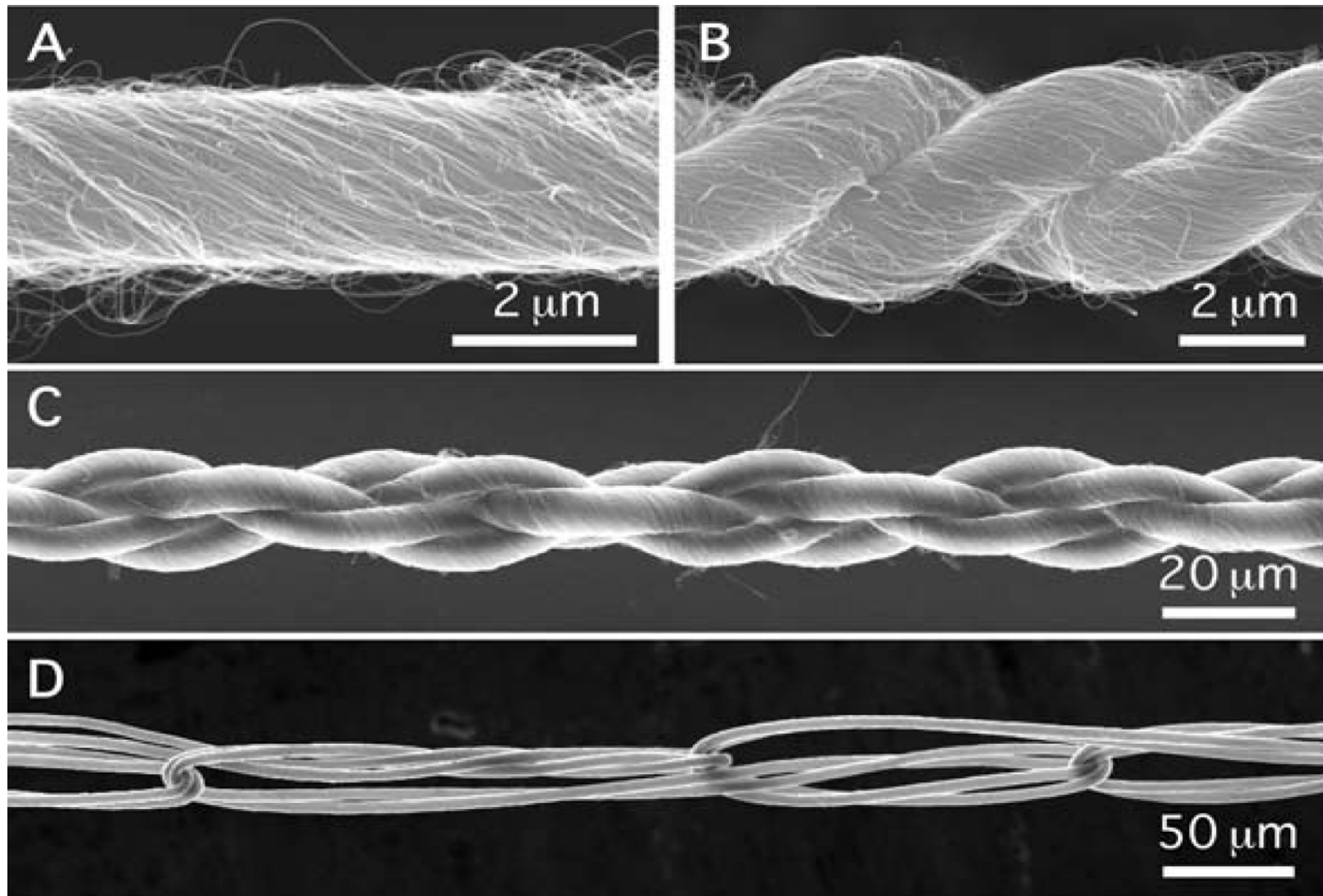
Mechanische Eigenschaften

- Hohe Zugfestigkeit
 - Theor.: ~100GPa
 - Gem.: ~2 GPa
- Starke Dehnbarkeit
(bis zu 10%)

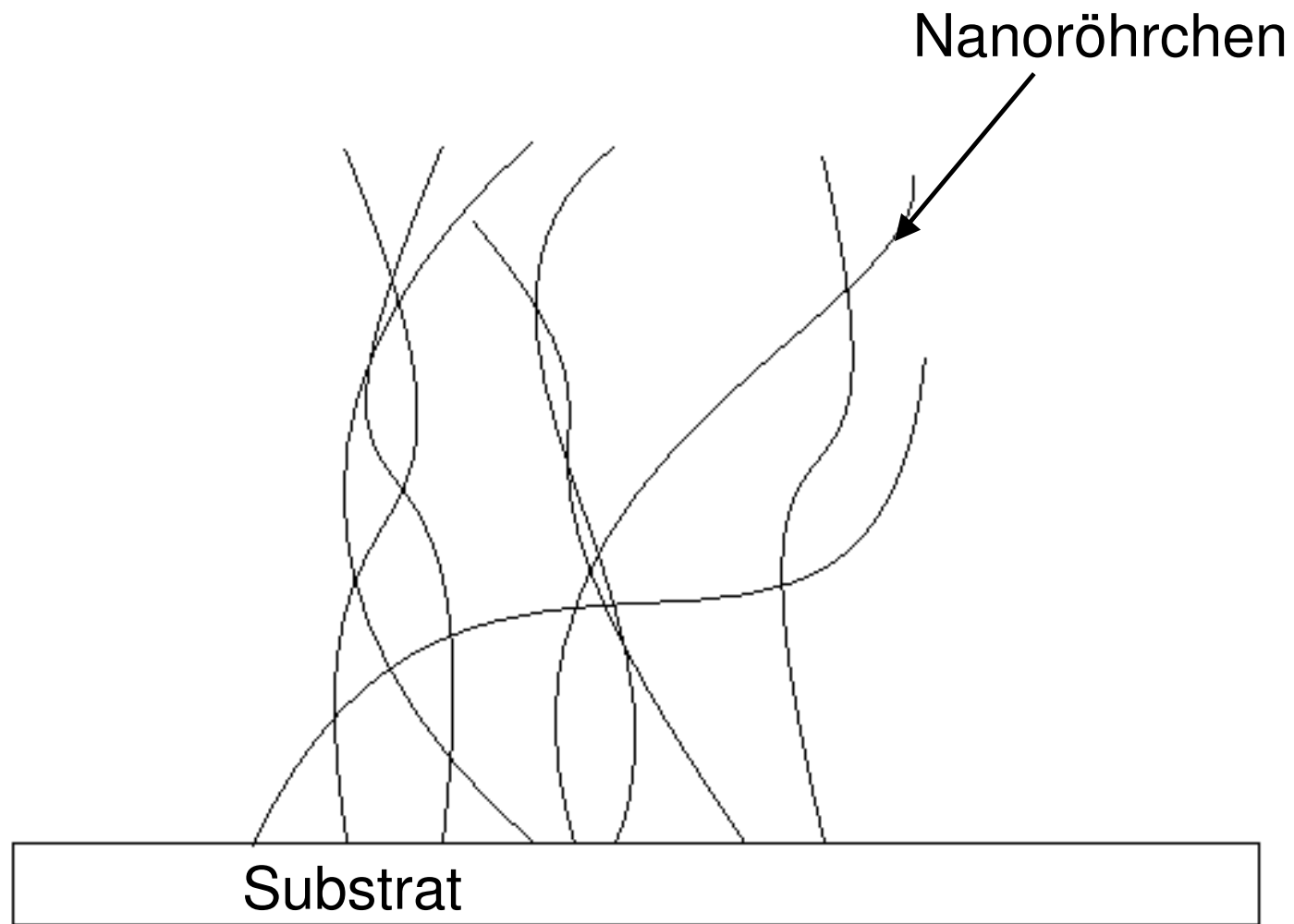
	Bindungsenergie [kJ/mol]
Kohlenstoff (sp ²)	610
Kohlenstoff (sp ³)	350
Iridium	120

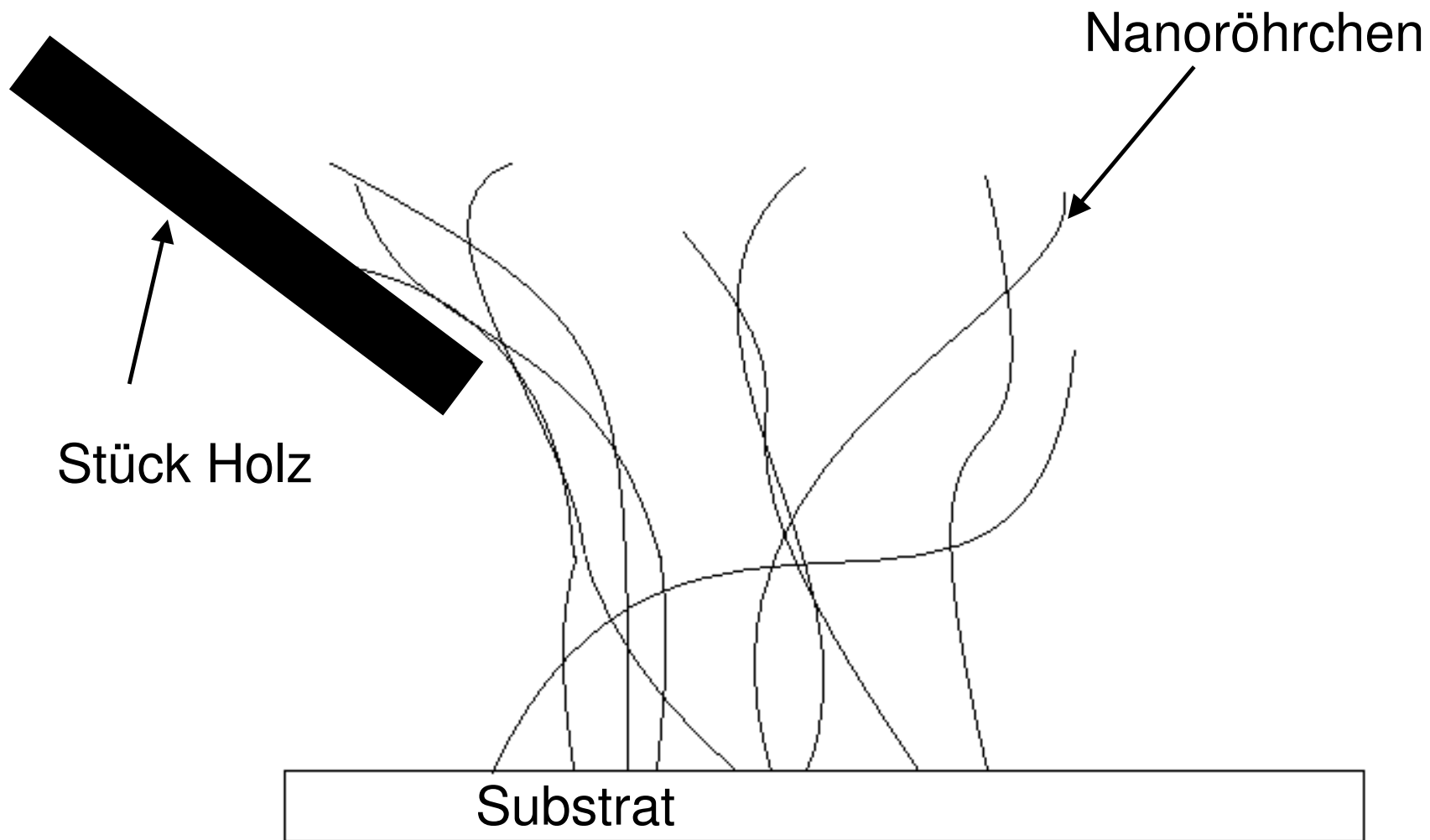


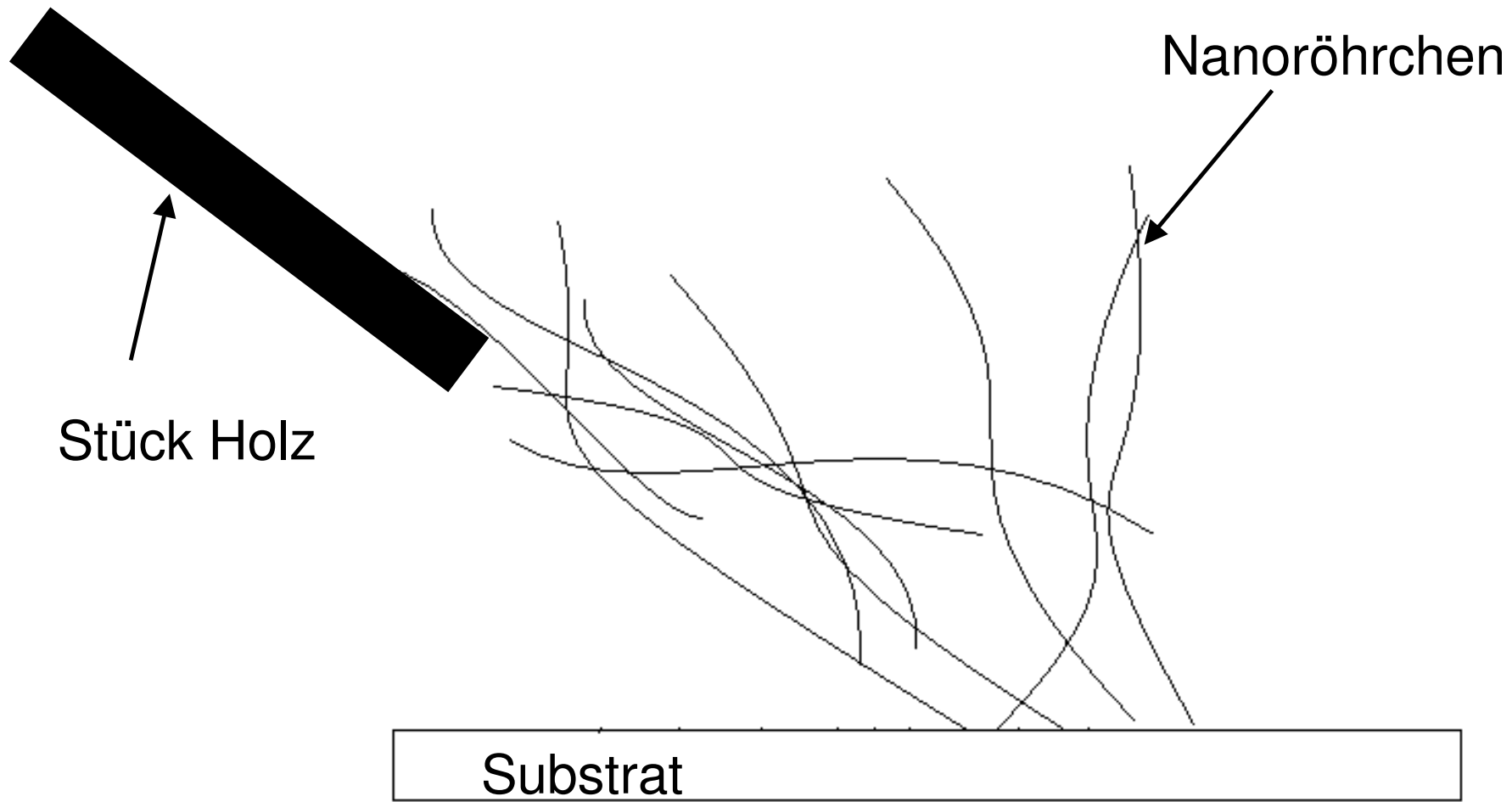
Nanogarn



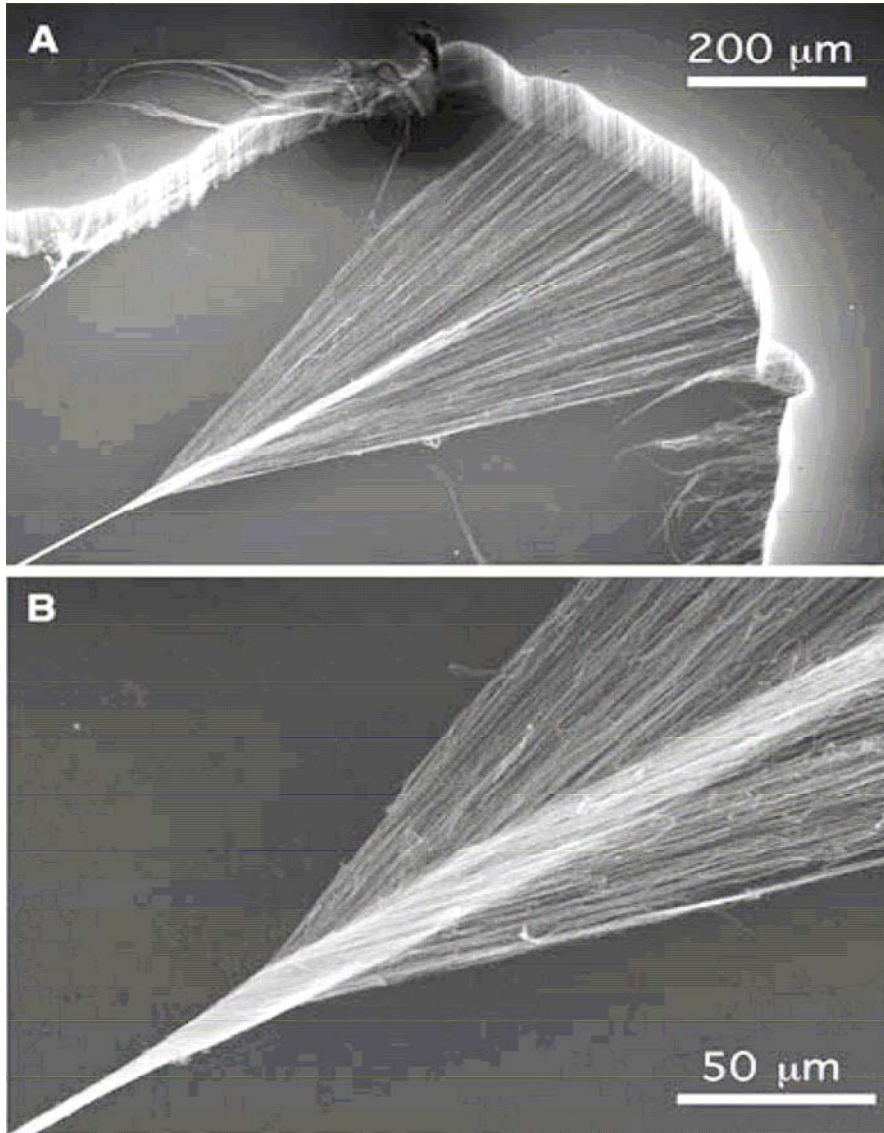
[Multifunctional Carbon Nanotube Yarns by Downsizing an Ancient Technology Mei Zhang, *et al.*, *Science* 306, 1358 (2004)]



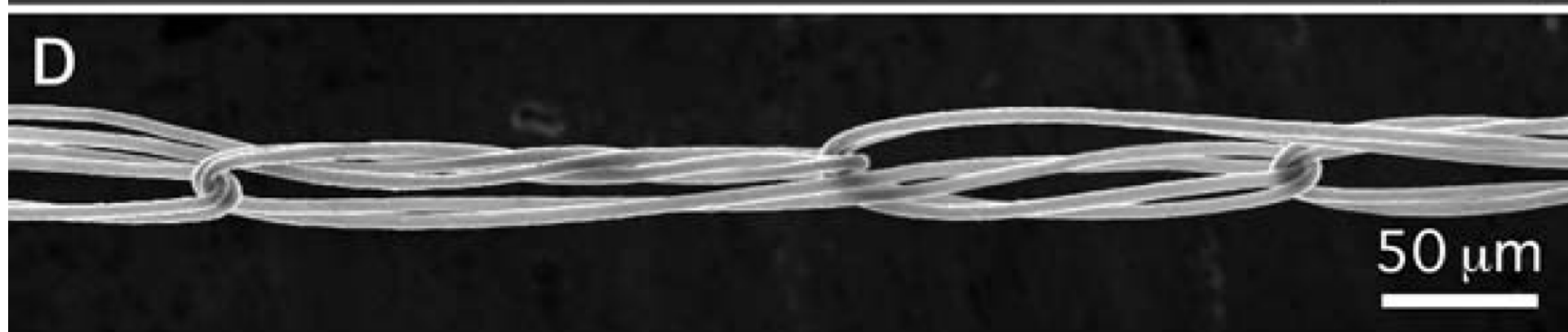
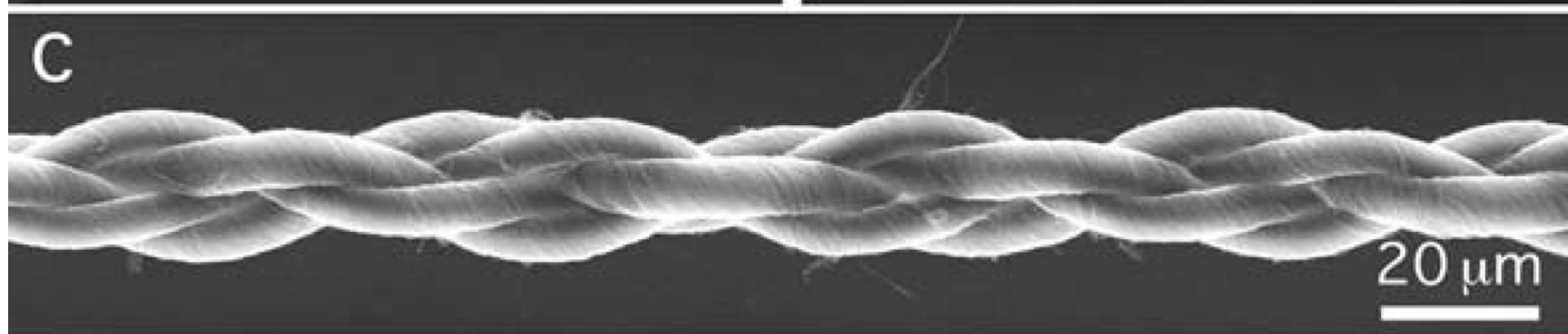
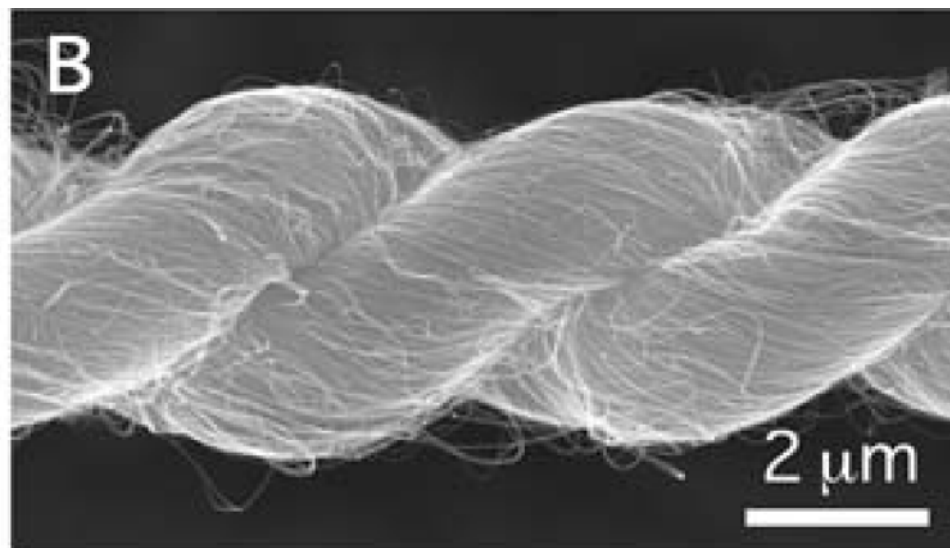
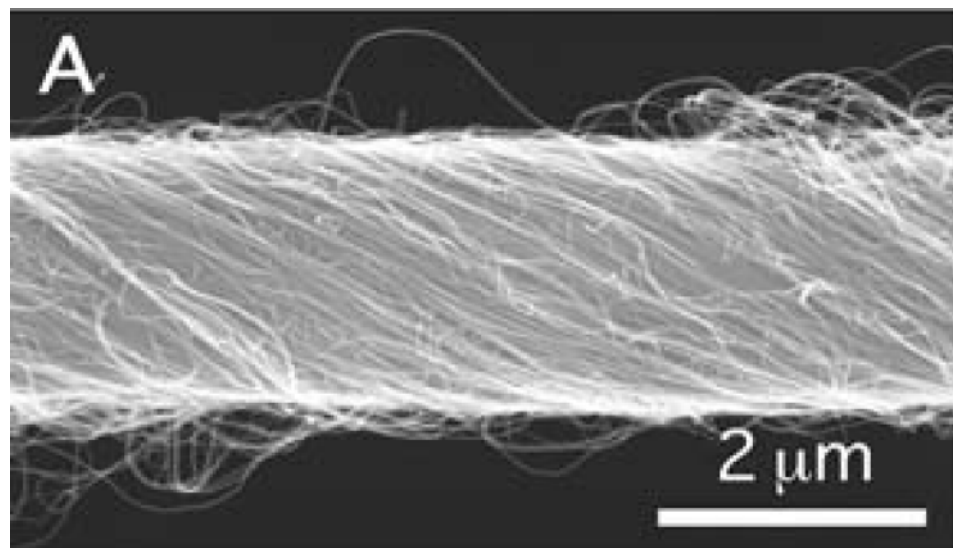




Herstellung von Nanogarn



- Mit Hilfe eines Holzstückchens werden Röhrchen vom Substrat entfernt
- Nanoröhrchen verheddern sich gegenseitig. Es kommt zur Fadenbildung
- Durch verdrillen erhält man ein stabiles Garn
- Zum Schluss wird es verflochten, so dass ein dickeres Garn entsteht



Eigenschaften von Nanogarn

- Sehr reißfest
 - ~600J/g
 - (Spinnenseide:165J/g, Stahl:50J/g, Titan:44-60J/g, Kevlar:33J/g)

Spezifische Reißfestigkeit:

$$\frac{N}{m^2} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{Nm^3}{m^2 kg} = \frac{J}{kg} = 1000 \frac{J}{g}$$

Eigenschaften von Nanogarn

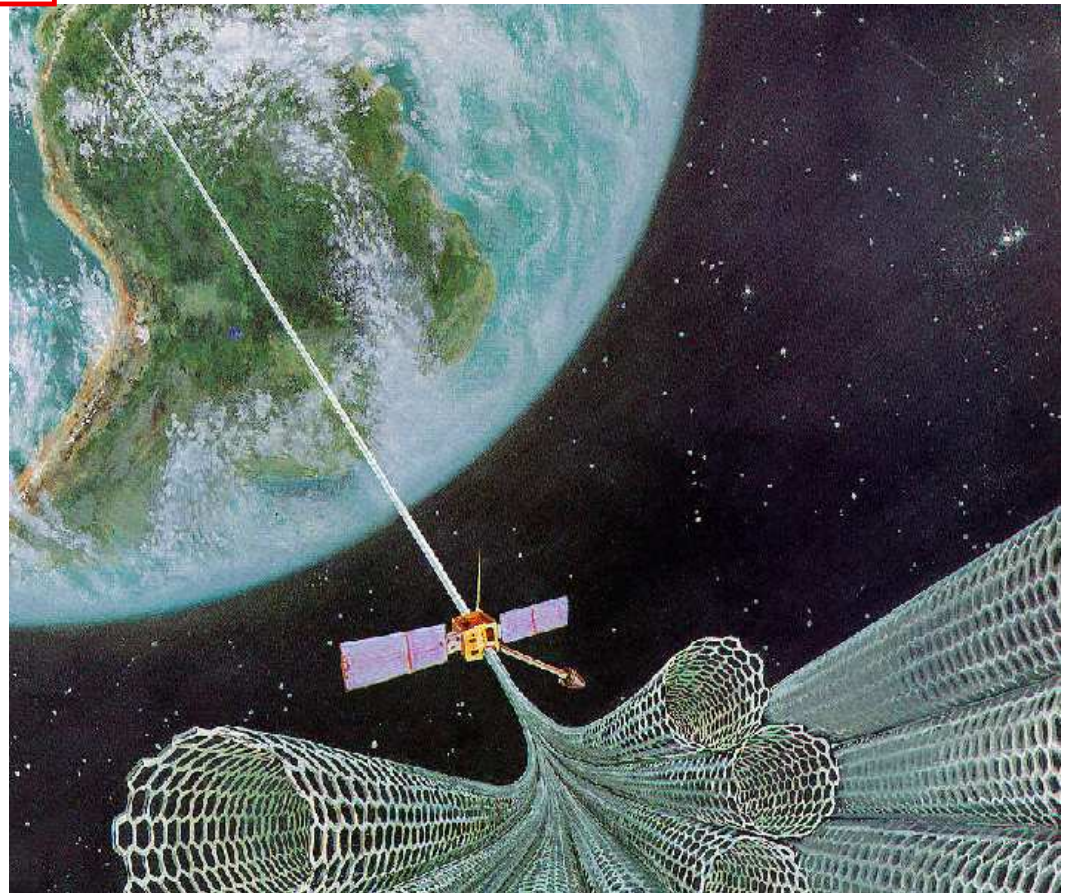
- Sehr reißfest
 - ~600J/g
 - (Spinnenseide:165J/g, Stahl:50J/g, Titan:44-60J/g, Kevlar:33J/g)

	Dichte [g/cm ³]	Zugfestigkeit [GPa]	E- Modul [GPa]
Nanogarn	1,3-1,4	2	~1000
Eisen	7,86	Bis zu 0,6	~200

- Sehr leicht
- Sehr flexibel

Anwendungsmöglichkeiten

- Luft -, Raumfahrttechnik
- Leistungssport
 - Fahrradsport
 - Motorsport
- Autoindustrie



[american scientist]

Anwendungsmöglichkeiten

- Luft -, Raumfahrttechnik

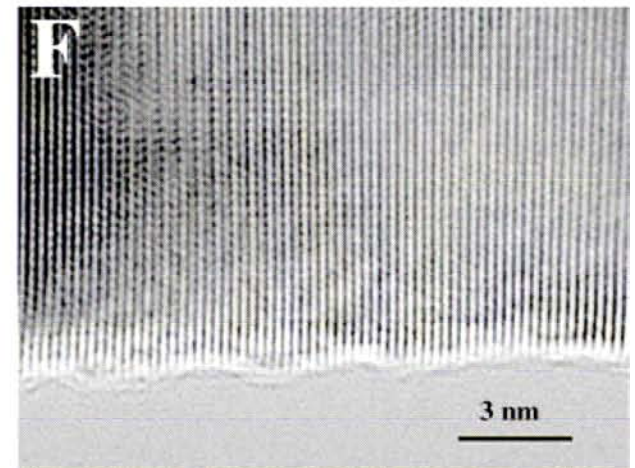
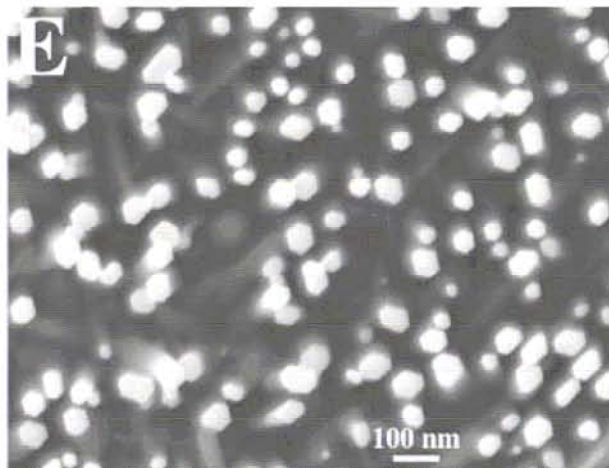
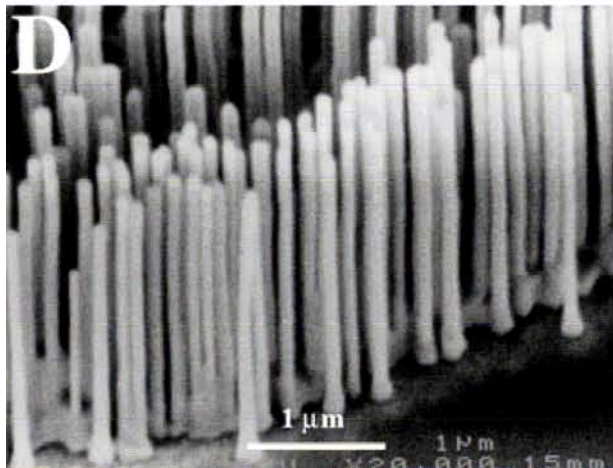
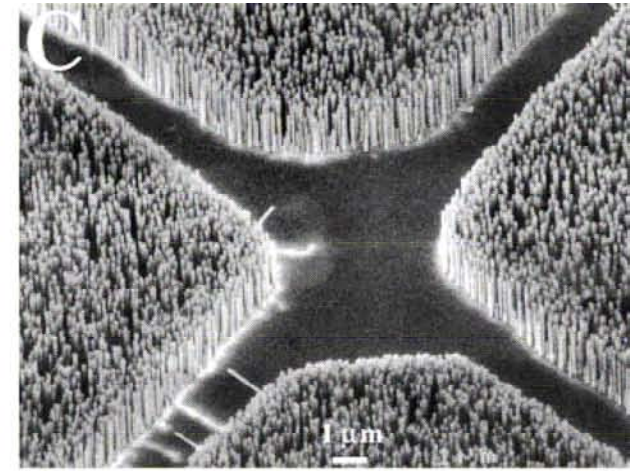
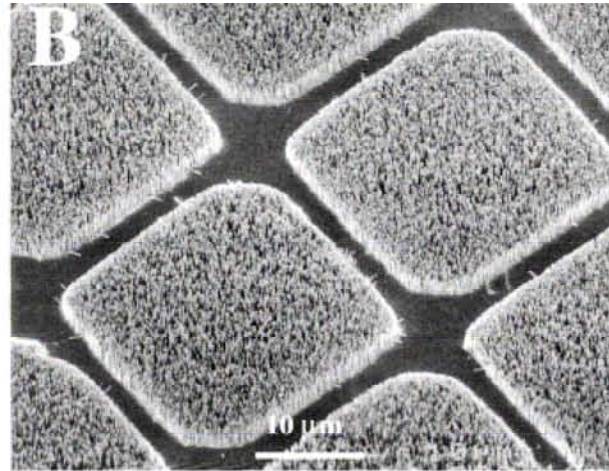
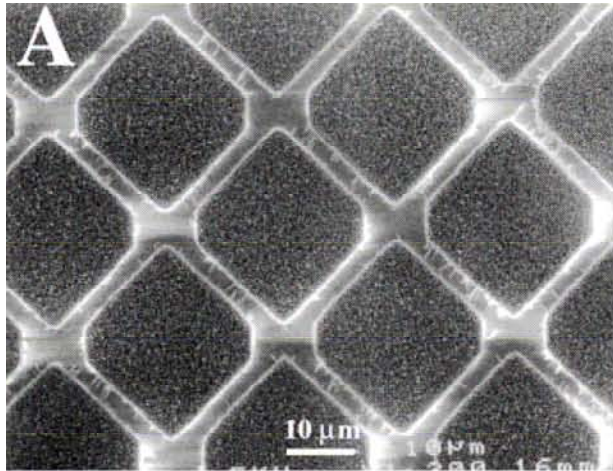
- Leistungssport
 - Fahrradsport
 - Motorsport

- Autoindustrie



[<http://news.com.com>]

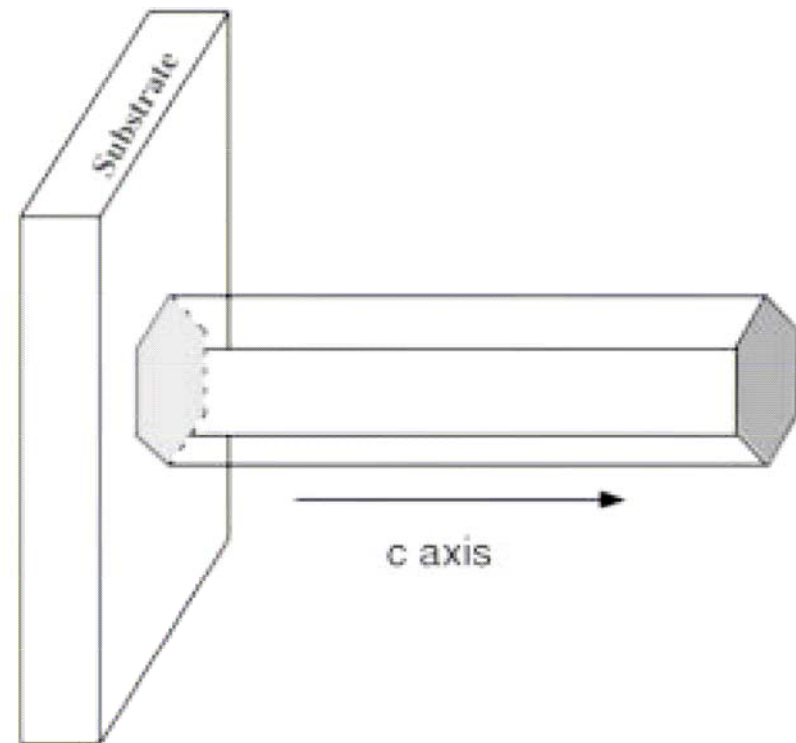
Nanolaser

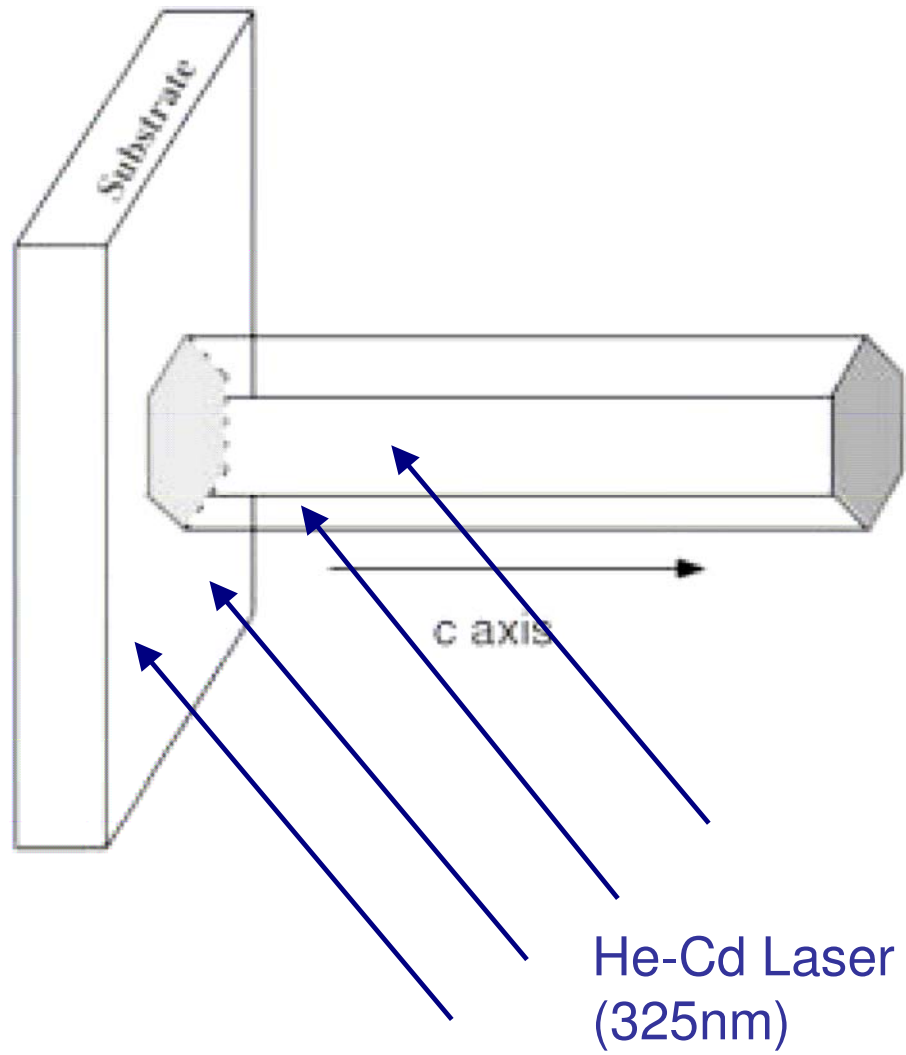


[Room-Temperature Ultraviolet Nanowire Nanolasers, Michael H. Huang, *et al.*, *Science* 292, 1897 (2001)]

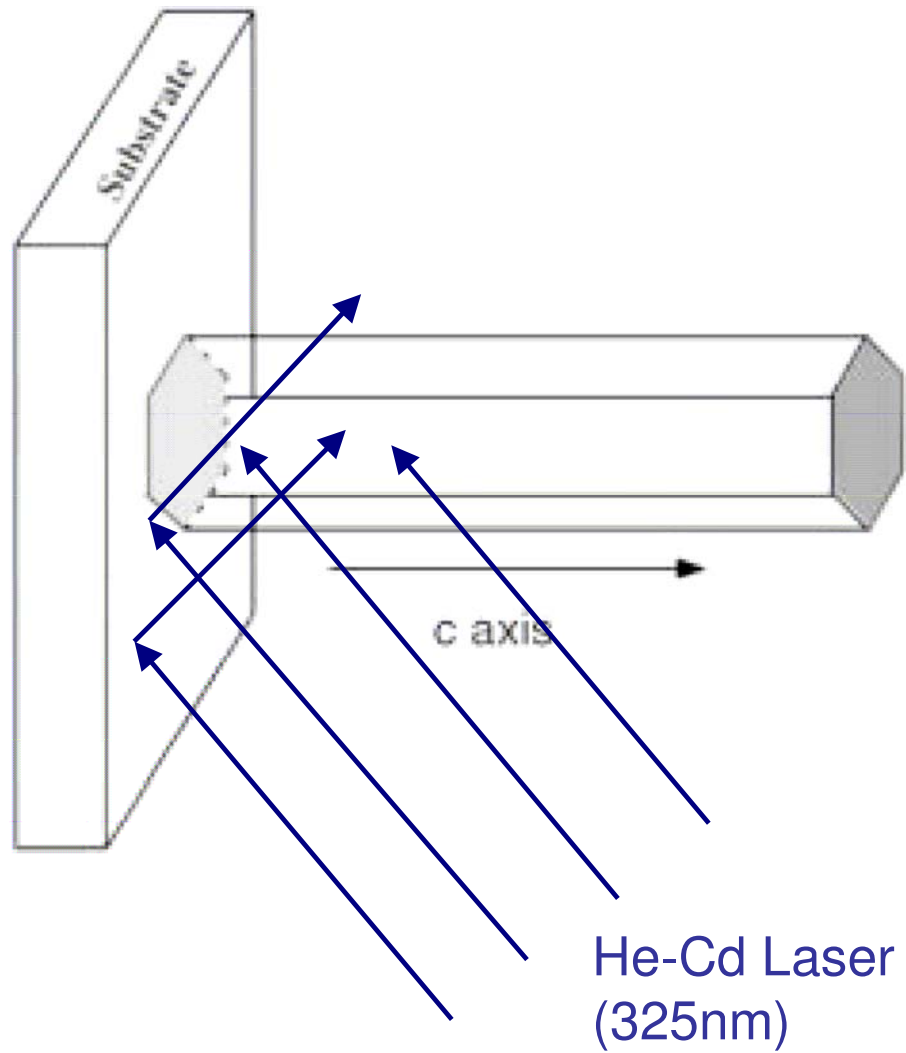
Material

- ZnO Nanodrähte auf Saphir Substrat
- Saphir Al_2O_3 rhomboedrisch
- ZnO Hexagonalstruktur
- Gitterstrukturen führen zu senkrechter Ausrichtung

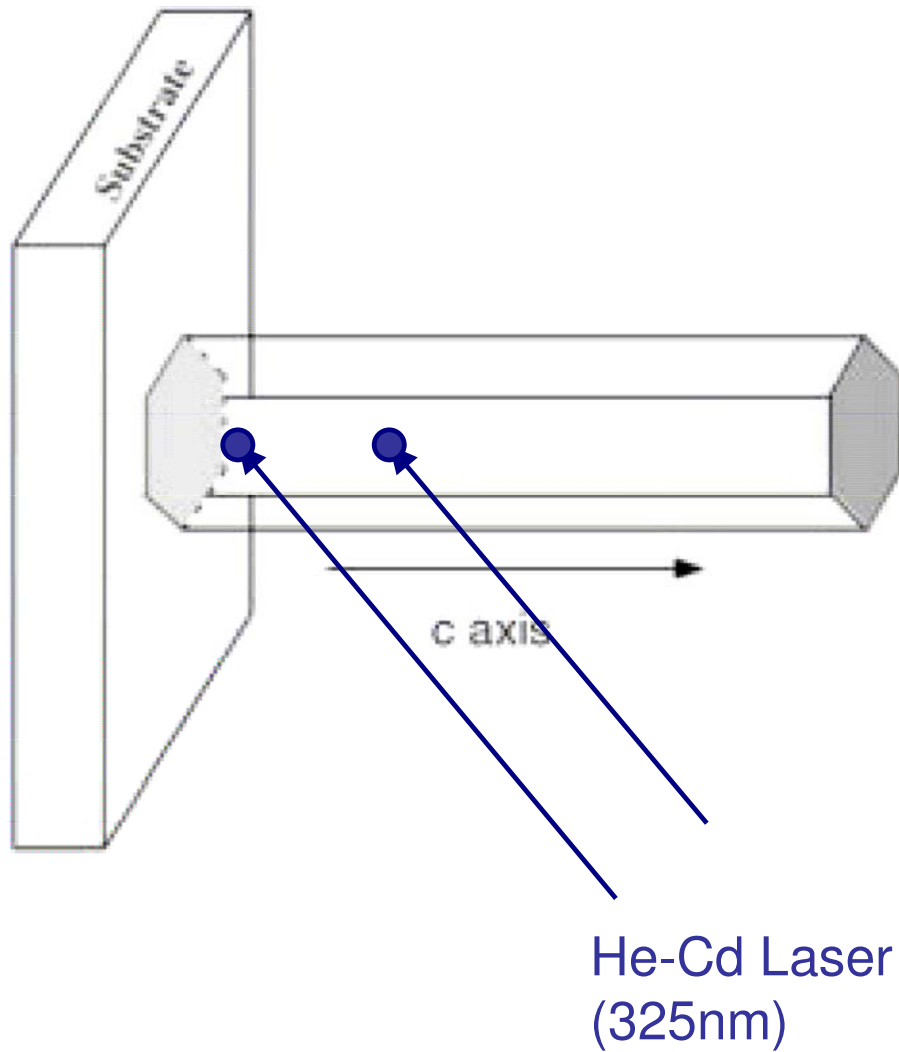




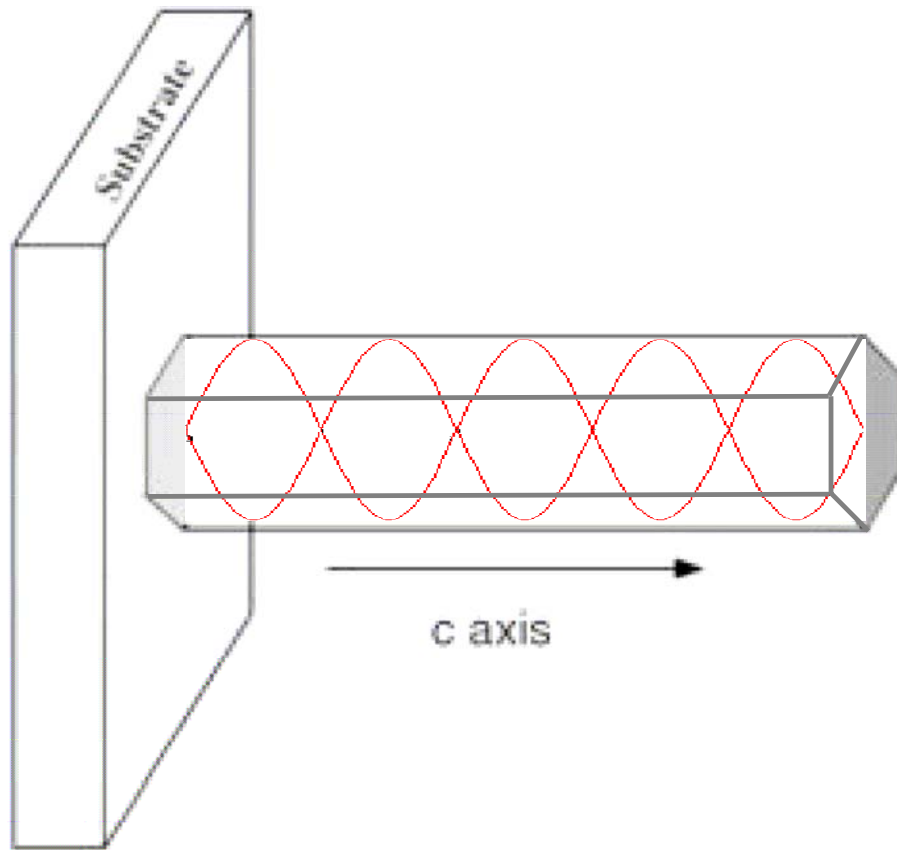
- Einstrahlung von Laserlicht



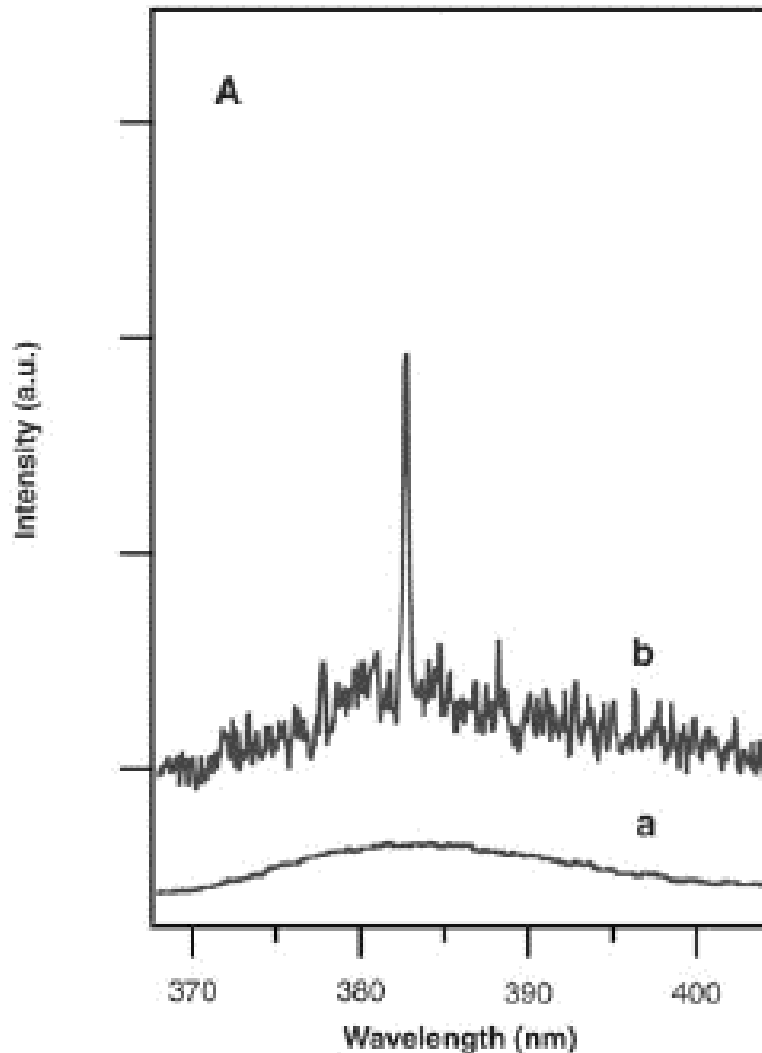
- Einstrahlung von Laserlicht
- Teil des Lichts wird reflektiert



- Einstrahlung von Laserlicht
- Teil des Lichts wird reflektiert
- Photonen werden absorbiert und regen Atome an



- Einstrahlung von Laserlicht
- Teil des Lichts wird reflektiert
- Photonen werden absorbiert und regen Atome an
- Beim Abregen der Atome emittieren
- Nanodraht wirkt wie ein Fabry - Perot Resonator



- Anregung bei 20 und 100 kW/cm^2
- Optimale Anregungsleistung 40 kW/cm^2
- Linienbreite $< 0,3 \text{ nm}$
(> 50 kleiner als ein spontaner Emissionspeak)

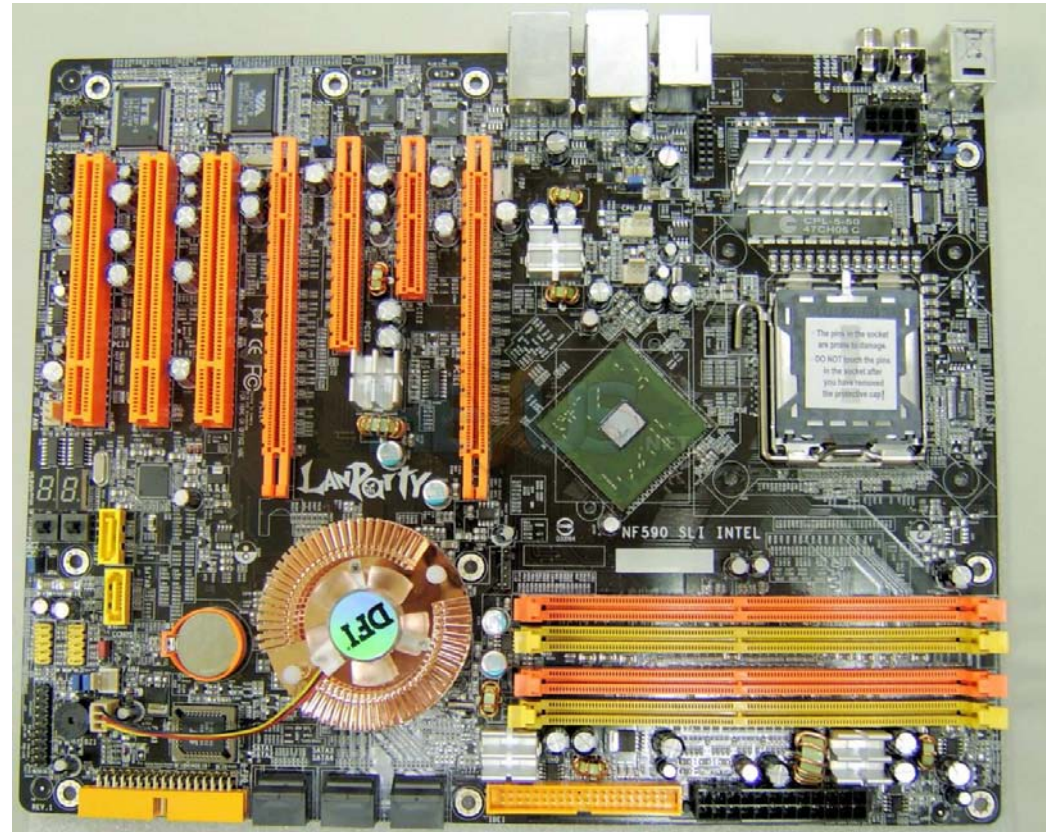
Anwendungsmöglichkeiten

- Medizin
- Optische
Datenverarbeitung



Anwendungsmöglichkeiten

- Medizin
- Optische Datenverarbeitung



[<http://img.hexus.net/v2/internationalevents/computex2006/Tarinder/MotherboardB.jpg>]

Zusammenfassung

- Vielseitigkeit der Nanodrähte und Nanoröhrchen
- Großes Potential
- Manche Fragen noch nicht geklärt

- Quellen: Folie1: Nanotubes: http://qt.tn.tudelft.nl/student/studentprojecten/BEP/bep_sami.htm
(<http://www.sciencemag.org/sciext/globalvoices/bai/slide07.html>)
- Nanowires: <http://www.tu-darmstadt.de/fb/ms/fq/ca/stellen.html>
- Folie6: Kohlenstoff-Nanoröhren *Metall oder Halbleiter: atomare und elektronische Struktur*
10. Mai 2004 Malte Avenhaus
- Folie7: http://www.mems-exchange.org/MEMS/processes/cvd_reactor.jpg
- Folie11-14: Seminarvortrag Silizium – Nanodrähte von Hassan Boukiour
- Folie15: 1) <http://research.yale.edu/ysm/article.jsp?articleID=486>
2) http://www.lpn.cnrs.fr/en/ELPHYSE/FaitsMarquants/FM_ELPHYSE_Resonano.php
- Folie17-19: Wikipedia
- Folie20,21: http://www.lancs.ac.uk/ug/virk/INDEX_clip_image003.jpg
- Folie29,30: Kohlenstoff-Nanoröhren *Metall oder Halbleiter: atomare und elektronische Struktur*
10. Mai 2004 Malte Avenhaus
- Folie31: Carbon Nanotubes, synthesis, strukture, properties and applications, M.S. Desselhaus,
G. Desselhaus, Ph. Avouris
- Folie32: http://www.haverford.edu/physics-astro/course_materials/phys322b/tubefet.jpg
- Folie33: DNA-Templated Carbon Nanotube Field-Effect, Transistor, Kinneret Keren, *et al.*, *Science* 302, 1380
(2003);
- Folie34: [Seminar: Neue Materialien Kohlenstoff-Nanoröhren 1D Leiter und molekularer Transistor Vortrag
am 17.5.04 von Kai Steinbock]
- Folie36-38: Multifunctional Carbon Nanotube Yarns by Downsizing an Ancient Technology
Mei Zhang, *et al.*, *Science* 306, 1358 (2004)
- Folie41: american scientist
- Folie42: <http://news.com.com>
- Folie43:
- Folie49: Room-Temperature Ultraviolet Nanowire Nanolasers, Michael H. Huang, *et al.*,
Science 292, 1897 (2001)
- Folie50:
- Folie51: <http://img.hexus.net/v2/internationalevents/computex2006/Tarinder/MotherboardB.jpg>