

# Anwendungen von Nanokristallen

Martin Kleppmann, Sommerakademie La Villa 2003

## Nanokristalle allgemein

- Korngrößen i.A. 1 ... 200 nm
- Materialien: meist Metalle (Gold) oder Halbleiter (Cadmiumselenid, CdSe) (aber auch Kohlenstoff-Fullerene?)
- bis zu 50% Oberflächenatome
- möglichst regelmäßige Kristallstruktur
- manchmal ummantelt mit anderen Materialien
- meist kugelförmig, aber auch Zylinder, Prismen usw. je nach Anwendung

## Wichtige Eigenschaften

- Elektronen und Löcher sind auf den Kristall begrenzt, daher völlig von Quantenmechanik kontrolliert (→ "Quantenpunkte", d.h. quasi 0-dimensional)
- diskrete Energieniveaus ähnlich wie bei Atomen, da Elektronen auf kleinerem Raum eingeschlossen sind → Unschärferelation: schnellere Bewegung und höhere Energie
- je kleiner der Kristall, desto größer die Abstände zwischen den Energieniveaus
- Fluoreszenz bei Anregung z.B. mit UV-Licht; abgegebene Wellenlänge (Energieniveau-Abstand) und Absorptionsspektrum (v.a. bei Gold) also abhängig von Kristallgröße, damit leicht kontrollierbar
- Vorteile gegenüber organischen fluoreszierenden Farbstoffen: Anregung durch beliebige Photonen höherer Energie (nicht bestimmter Wellenlänge); weniger Ausbleichung; asymmetrische Kristallformen geben polarisiertes Licht ab
- bei Halbleiterkristallen hängt der Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband auch von der Kristallgröße ab (kleinere Kristalle – größere Lücke), Bänderdefinition jedoch nicht mehr sehr sinnvoll – eher von Orbitalen zu sprechen.
- optische Eigenschaften werden verändert, wenn man z.B. ein Elektron hinzufügt (durch äußeres el. Potential)

## Biologische Anwendungen

meist wasserlösliche Nanokristalle benötigt. Viele kommerziell erhältlichen nanokristallinen Materialien verklumpen aber, wenn Salze gelöst sind. → Wasserlöslichkeit durch Beschichtung der Oberfläche mit geladenen Molekülen, so dass die Coulomb-Abstoßungskräfte die van der Waals-Anziehung überwinden.

### **Marker**

Nanokristalle können mit DNA-Sequenzen beschichtet werden; diese binden sich dann mit hoher Selektivität an das DNA-Gegenstück (Basen: A  $\leftrightarrow$  T, C  $\leftrightarrow$  G).

→ kann benutzt werden, um Kristalle an bestimmte biologische Strukturen (z.B. Strukturelemente von Zellen, Teile des Zellkerns) zu binden und durch Fluoreszenz sichtbar zu machen. Durch Kristalle unterschiedlicher Größe kombiniert mit unterschiedlichen DNA-Stücken können verschiedene Strukturen mit verschiedenen Farben zugleich markiert werden.

### **Nachweis von Antikörpern**

wie bei Markern; als Sequenz wird das Gegenstück zu der DNA bestimmter Antikörper verwendet

### **Verfolgung von Zellbewegungen**

Es wurde beobachtet, dass lebende Zellen die meisten Nanokristalle, denen sie begegnen, "fressen" (auch wenn diese relativ groß sind, > 100 nm). Ist eine Oberfläche zuvor mit vielen Nanokristallen präpariert worden, werden die "Spuren" der Zellbewegung sichtbar. → nutzbar für die Unterscheidung zwischen normalen und Tumorzellen, da letztere i.A. schneller "fressen" und sich schneller fortbewegen.

### **Transport von medizinischen Wirkstoffen?**

Problem: Nebenwirkungen von Medikamenten, da Wirkstoffe im Körper überallhin transportiert werden.

Lösungsansatz: "Verpackung" in Nanostrukturen, die sich nur am Ziel anlagern.

Gefahr: Nanokristalle evtl. Krebs erregend.

vgl. Jugend forscht-Arbeit von Matthäus Kloc

### **Makroskopische Materialien mit besonderen Eigenschaften**

z.B. künstliche Knochen zusammengesetzt aus Nanokristallen (wird vom Körper wegen rauer Oberfläche besser angenommen), "unzerreißbare" Seile, TiO<sub>2</sub>-Nanokristalle in Sonnencreme

## **Physikalische Anwendungen**

### **Ein-Elektron-Transistor**

CdSe-Nanokristall zwischen zwei Elektroden (Source, Drain) über einem isolierten Substrat (Gate).

Normalerweise ist die Verbindung über den Kristall nichtleitend: Eintritt/Austritt eines Elektrons aus dem Kristall wird durch Energiedifferenz verhindert (entsprechend Ionisation eines Moleküls). Wird durch Anlegen einer Spannung an das Substrat ein el. Feld erzeugt, verschieben sich die Energieniveaus → bei bestimmten Spannungen können Elektronen hindurchfließen.

### **Erstellung komplexer Strukturen**

elektrische/quantenmechanische "Bauteile" sind relativ nutzlos, wenn nicht mehrere von ihnen verschaltet werden können → Problem der Positionierung von Nanokristallen auf einer Oberfläche.

Lösungsansatz: Oberfläche wird mit speziell programmierten DNA-Sequenzen beschichtet; Nanokristalle erhalten die DNA-Gegenstücke zu den Stellen, an denen sie positioniert werden sollen, analog zu der biologischen Marker-Funktion. Verknüpfung der positionierten Bauteile ist evtl. über Nanodrähte aus metallisierter DNA möglich.

### **Quantenpunktlaser**

Spannung wird an Quantenpunkt angelegt → Elektronen werden auf höhere Energieniveaus gehoben, fallen zurück und geben Photon ab → Photon löst in anderen Punkten Abstrahlung aus → Laser-Lawineneffekt

Farbe beliebig steuerbar.

Einsatz geplant v.a. für Telekommunikation (Sender für Glasfaser), Displays (z.B. Fernseher mit hoher Farbreinheit), sogar Raumbelichtung (energieeffizienter als Glühbirnen)?

Photovoltaik?

## **Literatur**

- B. Arneson: Semiconductor nanocrystals and their uses as biological markers (1998)  
<http://www.cm.utexas.edu/academic/courses/Fall1998/CH380L/student.papers/Fall98/Nanocrystals.html>
- S. Barth et al.: Quantenpunktlaser, Denkschrift der DPG zum Jahr der Physik  
<http://www.weltdersphysik.de/themen/stoffe/materialien/nanostrukturen/optik/quantenpunkte/index.html>
- B. Dietrich, H. Weller: Zwischen Molekül und Festkörper, Physik Journal **2**, 47 (2002)
- D. Klein *et al.*: A single-electron transistor made from a cadmium selenide nanocrystal, Nature **389**, 699 (1997)
- W. Parak *et al.*: Biological applications of colloidal nanocrystals, Nanotechnology **14**, R15 (2003)
- B. Roling, Einführung in die Materialwissenschaften II (Vorlesungsskript)  
<http://www.uni-muenster.de/Chemie/PC/Funke/roling/matwiss/stunde5.pdf>
- C. Wang *et al.*: Electrochromic nanocrystal quantum dots, Science **291**, 2390 (2001)