

Potenziale der Nanotechnologien für Anwendungen im Energiebereich

Ausgearbeitet durch

K. Höhener, M. Moeckli

Temas AG, 9320 Frasnacht

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Mai 2001

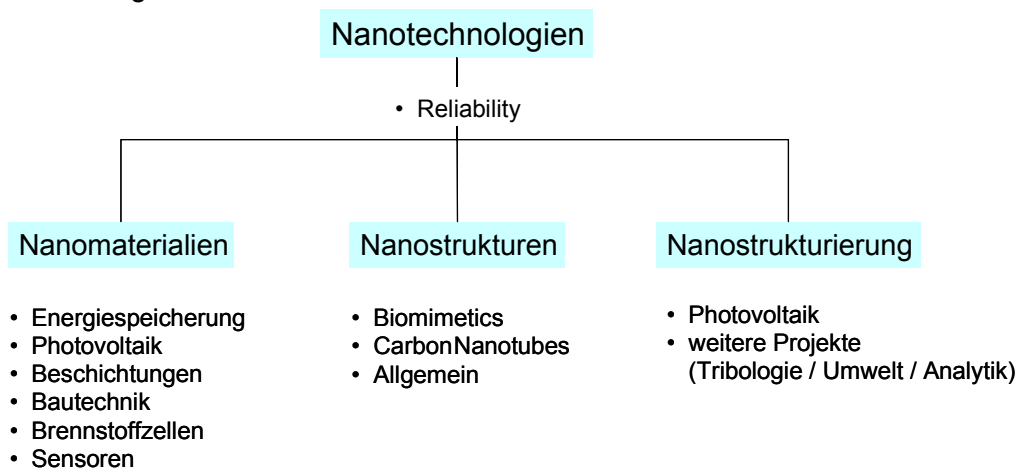
Potenziale der Nanotechnologien für Anwendungen im Energiebereich

Dr. Marc Moeckli, Karl Höhener, TEMAS AG

In der Dimension des Nanometers (1 nm = 0.000 001 mm) treffen sich die klassischen Disziplinen der Physik, Chemie und Biologie. Die Grenzen beginnen sich aufzulösen und die Gesetze der Quantenmechanik bewirken, dass sich Materialien anders verhalten, als wir es gewohnt sind. Diese Eigenschaften und die Entdeckung der Rastersondenmikroskopie (STM, AFM, etc.) durch Dr. Heinrich Rohrer und Dr. Gert Binnig in der Schweiz bilden die Grundlagen für die rasante Entwicklung der Nanowissenschaften und die sich daraus entwickelnden Nanotechnologien.

Nanotechnologien orientieren sich an der belebten Natur, sie ist ihr Vorbild. Diese neuen Technologien unterstützen die nachhaltige Entwicklung auf vielen Gebieten wie: Erneuerbare Energien, Funktionalisierung von Oberflächen, Self-assembly zwei- und drei-dimensionaler Strukturen, neue Materialien, Tribologie, Medizinaltechnik, Biologie, Informatik, etc. Sie sind gekennzeichnet durch minimalen Materialverbrauch, geringen Energiebedarf und weitere nachhaltige Eigenschaften. Höhere thermische Wirkungsgrade, reduzierte Reibungsverluste, Solarzellen für Kunstlicht und mit verbesserten Wirkungsgraden für Tageslicht sind nur einzelne Funktionalitäten aus dem Energiebereich zu denen Nanotechnologien heute substanzielle Beiträge leisten.

Die nachfolgenden Ausführungen zeigen anhand von laufenden F&E-Projekten Anwendungen von Nanotechnologien im Energiebereich in der Schweiz. Die Anwendungsbereiche wurden dazu drei Technologiefeldern zugeordnet.



Nanomaterialien

Nanomaterialien, besonders deren Oberflächen enthalten kleinste Teilchen von Substanzen (Nanopulver) und bilden Strukturen, die dem herkömmlichen Grundmaterial neue Eigenschaften verleihen können. Verkleinert man Teilchen einer Substanz in den Nanometerbereich, so ändern viele ihrer Eigenschaften. Nanopartikel besitzen z.B. eine tiefere Schmelztemperatur, eine beträchtlich kleinere

„Synthese und Anwendung von nanokristallinen TiO2 Partikeln für wiederaufladbare Batterien“

Funktionalität:

Elektroden von Lithium-Ionen Batterien werden durch die Verwendung von 5-15µm grosser (industriell handhabbarer) Partikel, die aus **nanokristallinem TiO2** Pulver aufgebaut werden optimiert. Durch die Optimierung der Partikelgrössen, Strukturen und Grenzflächen resultieren eine **doppelte Batteriespannung** gegenüber NiCd-Batterien (2.4 V), eine verbesserte **Zyklisierbarkeit** und markant **verkürzte Ladezeiten** der Batterie.

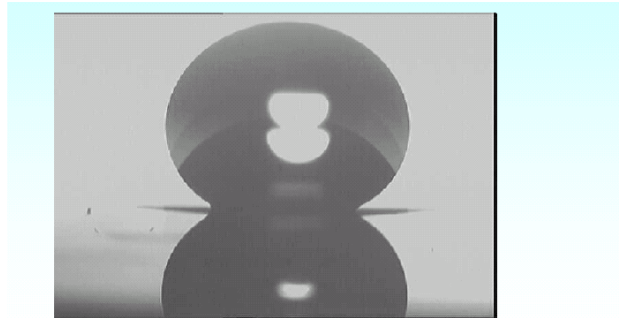
Kundennutzen:

Die besseren **Batterieleistungen** (Spannung, Zyklisierbarkeit Ladezeiten) eröffnen neue Anwendungsfelder für die optimierten Batterien, z.B. in den Bereichen **mobile Consumer Elektronik** (Laptop, Handy, ...) und **mobile Medizintechnik**.

Wärmeleitfähigkeit und veränderte elektrische Eigenschaften verglichen mit grösseren Teilchen desselben Materials. Die mit der Teilchengrösse ändernden Materialeigenschaften werden heute genutzt, um Nanomaterialien und Beschichtungen mit speziellen Charakteristiken wie z.B. sehr kleinen Wärmeleitfähigkeiten oder reduzierten Reibungskoeffizienten und Haftungseigenschaften herzustellen.

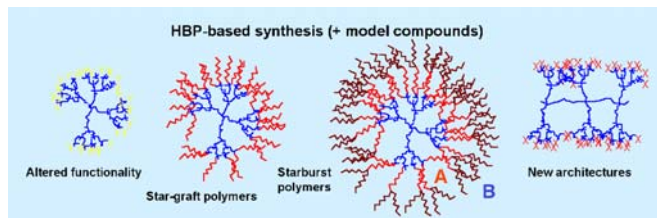
Nanostrukturen

Materialoberflächen und räumliche Objekte, die im Nanometerbereich strukturiert sind, charakterisieren sich durch ihren grossen Flächenanteil, der mit ihrer Umgebung in Kontakt steht. Nanostrukturierte Flächen und räumliche Objekte ermöglichen dadurch eine besonders feineräumige Wechselwirkung mit dem angrenzenden Medium, was bestimmte bereits vorhandene Materialeigenschaften wie z.B. Wasserabstossung verstärken kann (Lotus-Effekt). Spezifische Strukturen im Nanometerbereich können jedoch auch neue Effekte erzeugen, wie z.B. spezielle Lichtstreuungseffekte (Beugung) an Grenzflächen, die für Solarzellen genutzt werden können, um Sonnenlicht möglichst homogen im Halbleitermaterial zu verteilen und um Oberflächen lichtdurchlässig bzw. reflektierend zu gestalten. Viele energetische Verluste haben zudem ihre Ursachen in der Wechselwirkung von Materialien auf der Längenskala des Nanometers. Reibungseigenschaften werden wesentlich durch die Nanostrukturen der Oberflächen der beteiligten Materialien bestimmt und können durch geeignete Strukturierungen optimiert werden. Die mikroskopischen Vorgänge, die zu Reibungsverlusten führen, werden heute durch nanoanalytische Methoden und Instrumente wie z.B. dem Atom-Kraft-Mikroskop (AFM) erforscht und charakterisiert. Sie waren bisher auf Nanometerskala weitgehend unverstanden und werden erst seit kurzem in theoretischen Modellen mit



G. Jänchen, L. Barbieri, P. Hoffmann, TOP NANO 21 Project, Industrie: SwissOptic AG, Heerbrugg

Abstossung eines Wassertropfens durch eine strukturierte und beschichtete Glasoberfläche



Porogens for nanofoams based on HBP architectures, Quelle Prof. Manson EPFL

Hyperbranched Polymere sind stark verzweigt und eignen sich dadurch zur Herstellung von leichten Bauteilen mit grossen mechanischen Festigkeiten.

Reibungsphänomenen verbunden. Schliesslich ermöglichen Nanostrukturen bei Polymerwerkstoffen (Nanofoams) auch die Herstellung von leichten Bauteilen mit einer sehr grossen mechanischen Festigkeit und führen durch die Gewichtseinsparung indirekt zu einer effizienteren Energienutzung.

Nanostrukturierung

Der Bereich der Nanostrukturierung umfasst Technologien, mit denen zwei- und dreidimensionale Nanostrukturen erzeugt werden können. Beispielsweise wurden solche Nanostrukturen mit Laserstrahlung auf textilen Geweben erzeugt. Der entsprechende Prozess wird in der Fachsprache Laserablation genannt und ist für die Gewinnung von Nanostrukturen auf verschiedensten Materialien anwendbar. Ebenso können durch

„Nanostructures for Optical Devices and Elements NODE“

Materials: e.g.: metals, dielectrics, TiO₂

Typical linewidths 50-150 nm

Typical layer thicknesses 20-100 nm

Layer materials, thicknesses and nanostructuring are application specific

Basicstructure of the elements

Funktionalität:
Durch laterale Strukturierung einer Schichtstruktur können **spezifische optische Eigenschaften** einer Beschichtung realisiert werden.

Kundennutzen:
Gezieltes Design und Produktion von **Polarisatoren, Antireflexschichten und Resonanzfilter**

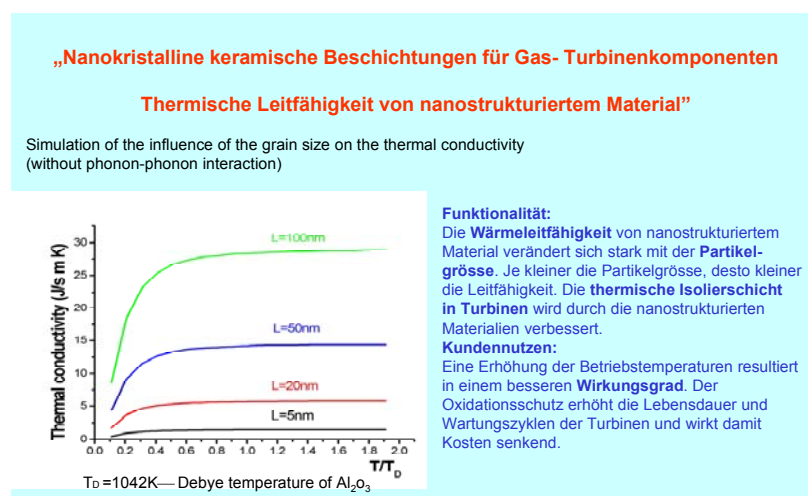
Materialdepositionen mit der Hilfe von fokussierten Elektronenstrahlen (FEB/FIB) feinste Strukturen im Nanometerbereich aufgebaut werden. Es existieren aber auch chemische Dampfabscheidungsverfahren (CVD), mit denen feinste Nanostrukturen und Partikel (z.B. Carbon Nanotubes, Nanopowders) erzeugt werden können. Ein interessanter Technologiebereich ist auch die Biomimetic, die Methoden umfasst, mit denen Nanostrukturen von natürlichen Materialien z.B. Holz übernommen werden können, wobei das natürliche Material durch ein für eine bestimmte Anwendung geeigneteres z.B. keramisches Material ersetzt wird. Die Nanoreplikation umfasst schliesslich Methoden, mit denen grossflächige Nanostrukturen durch spezielle Stempeltechniken erzeugt werden können. Solche Verfahren, die Nanostrukturierungen von Objekten in grossem Ausmass ermöglichen sind eine wichtige Grundlage für Kostensenkungen und die weite Verbreitung von nanostrukturierten Produkten auch im Energiebereich.

Potenziale von Nanotechnologien im Energiebereich

Nanomaterialien, Strukturen und Strukturierungsmethoden ermöglichen neuartige Lösungen und Verbesserungen bei der rationellen Energienutzung, der Energiespeicherung und bei der Nutzung von erneuerbaren Energien. Die folgenden Beispiele illustrieren Forschungsaktivitäten in der Schweiz die einen starken Bezug zum Energiebereich aufweisen.

Rationelle Energienutzung

In bezug auf eine rationelle Nutzung von Primärenergien können heute mittels spezieller Beschichtungen mit Nanomaterialien höhere Wirkungsgrade, durch einen verbesserten thermischen Schutz von energieproduzierenden Systemen wie z.B. Gasturbinen erzielt werden. Dies wird in einem TOP NANO 21 Projekt durch die Entwicklung spezieller thermischer Schutzschichten für Gasturbinenteile ermöglicht, die höhere Betriebstemperaturen erlauben und



Quelle: Prof. Hoffmann

einen verbesserten Schutz vor Oxidation bieten. Dabei werden die kleine Wärmeleitfähigkeit der keramischen Nanoteilchen und die hohe Dichte gegenüber der Diffusion von Sauerstoff der daraus erzeugten Schutzschicht ausgenutzt. Durch die Verbesserung der Korrosion, Reibungs- und Abnutzungseigenschaften von Maschinenteilen in verschiedensten mechatronischen Anwendungen können die in der Regel in Verlusten resultierenden Reibungskräfte verringert werden. Die Optimierung der

Reibungseigenschaften von Materialien bietet ein grosses Potenzial um Energieverluste zu vermindern. Da Reibungsphänomene durch die Oberflächeneigenschaften der in Kontakt stehenden Materialien bestimmt werden, sind sowohl Nanobeschichtungs- als auch Nanostrukturierungstechnologien für die Optimierung von Bedeutung. Fortschritte werden auch bei der theoretischen Modellierung von Reibungs- und Schmiervorgängen gemacht. So beschäftigt sich ein Projekt von TOP NANO 21 mit der Schmierwirkung von Proteinen, Fetten und anderen biologischen Bausteinen in wässrigen Lösungen. Mit den gewonnenen Erkenntnisse könnten bestehende industrielle Schmierprozesse neu durchdacht werden und evt. durch umweltfreundlichere Alternativen ersetzt werden. Die Schweiz besitzt aber auch Kompetenzen bei elektrischen Anwendungen von Nanotechnologien mit Bezug zur Energietechnik. Im Bereich der Energiespeicherung werden Nanopulver eingesetzt, die durch optimierte Partikelgrössen und elektrische Eigenschaften zu höheren Batteriespannungen und markant verkürzten Ladezeiten führen. Die feine Durchdringung von Medien in Nanostrukturen wird zur Erhöhung des aktiven

Anteils an Elektrodenmaterial in Elektroden von Kondensatoren (Supercaps) genutzt. Diese Nanopartikel und -strukturen ermöglichen auch in Festkörperbrennstoffzellen eine Effizienzsteigerung, indem die Dicke des Brennstoffzellen-Elektrolyten signifikant reduziert werden kann. Im Bereich der Beleuchtungstechnik werden Carbon Nanotubes, mikrometerlange Kohlenstoffröhrchen mit nur wenigen Nanometern Durchmesser angewendet. Durch ihre grosse Leitfähigkeit und kleinen Durchmesser eignen sie sich hervorragend als elektrische Feldemitter und wurden bereits für die Herstellung von quecksilberfreien und unmittelbar schaltenden Fluoreszenzlampe als Alternativen zu konventionellen Leuchtstoffröhren eingesetzt.

Die zuverlässige Herstellung dieser Carbon Nanotubes mit definierten Abmessungen und Ausrichtungen an gewünschten Stellen auf Trägermaterialien ist eine Herausforderung, an der im Rahmen von TOP NANO 21 geforscht wird und die zu grundlegenden Erkenntnissen für den Einsatz von Carbon Nanotubes in energieeffizienten Flachbildschirmen führen

könnte. Carbon Nanotubes waren in Fachzeitschriften öfters auch als effiziente Wasserstoffspeicher z.B. für Brennstoffzellen im Gespräch. Neuste Forschungsergebnisse aus der Schweiz relativieren aber die anfängliche Euphorie und zeigen, dass alternative Speichermaterialien wie Metall-Hydride vermutlich geeigneter Lösungsansätze bieten [1]. Schliesslich sei auch der Bereich der Bautechnik erwähnt, wo gegenwärtig Präparationsmethoden für Zemente entwickelt werden, so dass Wärme- und Feuchtigkeitstransportphänomene mit Atomkraft-Mikroskopen untersucht werden können. Das Verständnis dieser Prozesse auf der Nanometerskala bildet eine wichtige Grundlagen für ein zukünftiges gezieltes Design der Eigenschaften von Baumaterialien.

“Cold cathode fluorescent lamps for general lighting based on carbon nanotube field emitters“



Funktionalität:
Kohlenstoff-Nanoröhrchen emittieren Elektronen, welche eine **neuartige Glühbirne/Leuchtstoffröhre** zum Leuchten anregen.

Kundennutzen:

- Quecksilberfrei
- Dimmbar
- **Leuchteffekt tritt ohne Verzögerung** beim Einschalten ein
- Weitgehend kompatibel mit bestehenden Systemen

Carbon nanotube lamp illuminating surrounding laboratory equipment

Quelle: Prof. Bonard

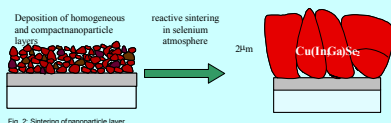
Erneuerbare Energien

Im Bereich der erneuerbaren Energien konzentrieren sich die Forschungsaktivitäten in der Schweiz auf Solarzellen. Dabei wird der grosse Oberflächenanteil im Verhältnis zum Volumen von Nanopartikeln ausgenutzt. Diese Pulver ermöglichen es, kleinporige Strukturen und Beschichtungen zu erzeugen,

„Nanomaterials for high efficiency and low cost Cu(In,Ga)Se_2 thin film solar cells“

Funktionalität:
Gesinterte Schichten aus Nanopartikeln mit kompakten, bruchfreien Korngrössen in der Grössenordnung $1\mu\text{m}$, gewünschter **Kristallorientierung** und Adhäsionseigenschaften. Die Kompaktheit und Bruchfreiheit werden durch das grosse Oberflächen zu Volumen Verhältnis der Vorläufer-Nanomaterialien ermöglicht.

Kundennutzen:
Niedrige Herstellungskosten (<0.80 Euro/Wp) und optimierte Materialausnutzung ermöglichen die Herstellung von **polykristallinen Dünnschicht-Solarzellen mit Glassubstraten** und Umwandlungseffizienzen um 10 %.



Quelle: Dr. Tiwari

und neuartige Anwendungen ermöglichen, wie z.B. flexible Solarzellen oder Solarzellen, die in Innenräumen bei Kunstlicht benutzt werden können.

Farbstoffmoleküle einzulagern und die Effizienz der Energieumwandlung von Licht zu elektrischer Energie zu erhöhen. Spezielle Nanostrukturen auf den Grund- und Deckmaterialien von Solarzellen können genutzt werden, um einfallende Sonnenstrahlung durch Lichtstreuung optimal im Halbleitermaterial der Zelle zu verteilen. Die Ergebnisse all dieser Forschungsaktivitäten könnten in naher Zukunft zu substantziellen Kostensenkungen bei der Herstellung von Solarzellen führen

Die diskutierten Beispiele illustrieren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten von Nanotechnologien im Energiebereich, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

[1] L. Schlapbach, A. Züttel, Nature 414, 2001, 353-358

Weiterführende Quellen zur industriellen Nutzung von Nanotechnologien:
Home Page TOP NANO 21 www.ethrat.ch/topnano21 und www.temas.ch.