

Nanopartikel- Materialien der Zukunft?

1. Allgemeines:

Der Nanometer (10^{-9}m) ist der milliardste Teil eines Meters. Bereits 80% der großtechnischen Produkte werden als Partikel formuliert oder tauchen an Stellen im Herstellungsprozesses auf. Die verschiedenen Anwendungsgebiete reichen von der Katalyse über Oberflächenbeschichtung bis hin zu Fotografie. Längst ist der Mikrometer der Präzisionsmaßstab der Technik, nun wird mit fortschreitender Miniaturisierung auch ein neuer Präzisionsmaßstab benötigt. Die Ansätze der Nanopartikeltechnologie wurden geschaffen durch:

- Die Entdeckung der Fullerene (C_{60}) durch Croto, Swalley und Curl, Nobelpreis der Chemie 1985.
- STM (Scanning Tunneling Microscope) durch Binning, Rohrer und Ruska, Nobelpreis der Physik 1986.

2. Eigenschaften der Nanopartikel:

Nanopartikel liegen mit ihrer Ausdehnung bis zu 100nm zwischen den Grenzfällen von Stoffen mit einer Teilchenzahl größer als 10^{23} und einzelnen Atomen. Darauf beziehen sich interessante Effekte. Zu einem der Oberflächeneffekt: Durch die große spezifische Oberfläche, befinden sich sehr viele Atome an der Oberfläche. Der Anteil der Oberflächenatome steigt mit sinkender Partikelgröße an. Die Atome an der Oberfläche befinden sich in einem energetisch erhöhten Zustand gegenüber den Atomen aus dem Innern des Materials, da sie eine geringere Zahl nächster Nachbarn haben. In Nanopartikeln sind relativ wenige Atome agglomeriert, womit sich die Zahl an Elektronen gegenüber den grobkörnigen Teilchen signifiant verkleinert. Es vergrößert sich der Anteil zwischen den einzelnen Energieniveaus. Es kann nicht mehr von einem quasi kontinuierlichem Zustand im Festkörper gesprochen werden, sondern man muss wieder zu den diskreten Niveaus übergehen. Darauf beruht der Volumeneffekt, auf dem wiederum viele vom normalen Material abweichende Eigenschaften beruhen. Eine wichtige Eigenschaft ist die durch den Volumeneffekt hervorgerufene Schmelzpunkterniedrigung mit abnehmenden Partikelradius. Eine weitere Eigenschaft der Nanopartikel ist der Ferromagnetismus. Der Durchmesser superfeiner Partikel liegt im Bereich der Ausdehnung der Weißschen Bezirke (10-100nm). Man kann also davon ausgehen, dass der gesamte Nanopartikel, ein in einer Richtung magnetischer Permanentmagnet ist (single magnetic domain). Bei der Umpolung des Magnetfelds muss daher der gesamte Partikel und nicht nur ein kleiner Teil ummagnetisiert werden. Dies bedarf weniger Energie, da keine Wechselwirkungen mit weiteren magnetischen Bezirken im Partikel erfolgen.

3. Synthese von Nanopartikeln

3.1. Partikelbildung aus der Gasphase

Das Aerosolverfahren zeichnet sich durch seine Einfachheit, das Vermeiden des Anfalls großer Volumina an flüssigen Nebenprodukten und die Reinheit der Produkte aus. Bei der Bildung von Pulverpartikeln aus der Gasphase ist die treibende Kraft die stetige Synthese von Molekülen aus chemischen Reaktionen des Precursorgases oder die rapide Abkühlung des übersättigten Gases. Neue Partikel bilden sich durch Kollisionen oder die ständig im Gleichgewicht befindliche Verdampfung und Kondensation von Molekülclustern. Neu gebildete Teilchen wachsen durch weitere Kollisionen mit Produktmolekülen (Kondensation) und Partikeln (Koagulation). Eine Herstellungsvariante für Nanopartikel ist der Flammenreaktor. Dabei wird durch Zersetzung von Precursormolekülen in einer Flamme bei 1500K bis 2500K, oder in Laserreaktoren, in denen der gasförmige Reaktand mit dem Laser selektiv erhitzt wird, das gewünschte Produkt erhalten. Eine weitere, jedoch ältere Methode ist die Verdampfung und Kondensation in Heißwandreaktionen.

3.2 Partikelbildung aus Tropfen

Ein Beispiel für die Partikelbildung aus Tropfen ist der Sol-Gel-Prozess, bei dem die Nanopartikel durch Fällung von Substanzen aus Lösungen hergestellt werden. Der erste Schritt ist die Herstellung der Lösung die Metallionen enthält, im zweiten Schritt wird die Fällungsreagenz hinzu gegeben. Der gebildete Niederschlag wird abfiltriert und weiterverarbeitet.

4. Beispiele und die Verwendung der Nanopartikel

Nanomaterialien könnten für die Entwicklung neuer Separatoren für Lithiumakkumulatoren eingesetzt werden, die in Fahrzeuge anstelle von Kraftstoffen eingesetzt werden könnten. Weiterhin könnte die starke antibakterielle Wirkung von Silberpartikeln für die Beschichtung von Oberflächen medizinischer Instrumente genutzt werden. Eine weitere Anwendung von Nanopartikeln ist die Farbstoffpolarisation, die man in Flüssigkristallanzeigen einsetzt. Die Helligkeit gegenüber konventionellen Displays wird somit wesentlich erhöht. Die Eigenschaft beruht darauf, dass zum Beispiel Nanoverbundstoffteilchen mit Goldteilchen von 79nm Durchmesser in Transmission blau, in seitlicher Reflexion braun-gelb erscheinen (Tyndall-Effekt). Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Verwendung von Quantenpunkten. Zum Beispiel kann durch den Einbau von

Cadmiumsulfidpartikeln in Glas dekorative Effekte erzielt werden. Treten in diesen Systemen nicht lineare optische Effekte fest, kann der Brechungsindex durch Anlegen eines elektrischen Feldes verändert werden.

5. Risiken

Mit Zunehmenden Wissen und der ansteigenden Menge der Partikel steigt auch das Bewusstsein für Gesundheitsrisiken. Die Reaktion des Körpers auf Partikel ist vielfältig, wobei die Größe eine wichtige Rolle spielt: Asbestfasern sind krebserregend, Salzwasserpartikel gesundheitsfördernd. Vor allem ist die Asbest-erfahrung ein wesentlicher Hintergrund für die Nanopartikeltechnologie begleitende Sicherheitsdebatte.

6. Ausblick

Das Ziel in der Zukunft wird sein, einheitliche maßgeschneiderte Teilchen in Nanogröße herzustellen. Es fehlt jedoch noch an billigen Methoden für aggregierte Nanopartikel im Bereich von 1-50nm und man wird versuchen müssen die Mechanismen und Einflussparameter zu Verstehen, um genau die vorgegebene Eigenschaft bereits in der Synthese zu verwirklichen.

Fragen:

1. In welchen Grenzfall des Größenbereiches halten sich Nanopartikel auf? Beschreiben sie die daraus resultierenden Besonderheiten des Oberflächeneffektes und des Volumeneffektes und die daraus hervorgehende Schmelzpunktniedrigung.
2. Beschreiben sie kurz die ihnen bekannten Arten des Magnetismus und ordnen Sie das besondere magnetische Verhalten der Nanopartikel ein.