

I QUANTUM DOTS

Le proprietà optoelettroniche delle particelle fini sono sensibili alla dimensioni delle particelle, al loro abito cristallino ed alla composizione.

L'effetto quantico delle dimensioni è una delle proprietà che vengono esaltate dalle nanoparticelle, infatti, quando la dimensione di una particella diviene inferiore del raggio effettivo di Bohr, circa 10 nm, gli elettroni vengono confinati e le loro bande divengono discrete, così come avviene in un singolo atomo. I quantum dots sono considerati atomi artificiali, in quanto la possibilità di cambiare gli stati energetici degli elettroni cambiando un voltaggio applicato ha condotto all'idea di poter cambiare la natura della materia. In altre parole, poiché è possibile cambiare la banda energetica dei materiali cambiando la loro dimensione è possibile ottenere delle applicazioni completamente nuove (vedi un'immagine di un quantum dot in fig. 1).

Tra i materiali che presentano tali caratteristiche vi sono le particelle di semiconduttori del tipo CdE ove E=S, Se, Te. All'inizio degli anni '90 Murray ed altri preparano particelle di CdSe tra 1 ed 11 nm per pirolisi e misurarono gli spettri di assorbimento di tali particelle in funzione della dimensione. Il risultato fu quello di osservare una cambiamento continuo degli spettri al variare della dimensione stessa (vedi fig. 2). Questo effetto può essere osservato solo con nanoparticelle molto uniformi aventi una deviazione standard nella distribuzione granulometrica inferiore al 5 %.

Il risultato è un eccezionale controllo della lunghezza della luce irradiata da queste particelle nel campo del visibile (vedi fig. 3).

Queste particelle vengono normalmente ricoperte in superficie con un tensioattivo per evitare la loro aggregazione o ricoperte con uno shell da un altro semiconduttore (ZnS, ZnSe, CdS etc.). Il materiale dello shell può cambiare le caratteristiche ottiche del materiale, mentre cambiando l'agente tensioattivo si può modificare l'idrofobicità, il pH etc. (vedi fig. 4). Grazie alle loro fluorescenza queste particelle possono essere utilizzate in biomedicina sulla base di una loro funzionalizzazione che consente un loro legame con le cellule da individuare. Per l'elevatissima superficie esposta per unità di peso, le loro caratteristiche ottiche possono essere influenzate dall'ambiente in cui esse sono poste, per cui possono essere utilizzate come sensori

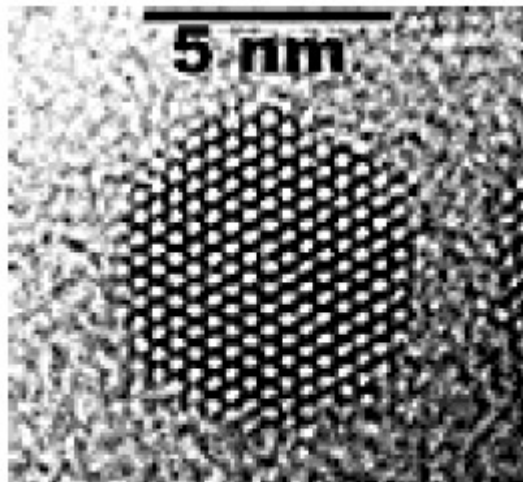
Una delle applicazioni più interessanti, in corso di sviluppo, è l'utilizzo di questi composti quali memorie ottiche. Infatti, se un film sottile di una sospensione di queste particelle, sottoposta ad un irraggiamento, aumenta la sua fluorescenza e viene conservato in un ambiente buio, ad un successivo irraggiamento esso manifesta la stessa intensità di fluorescenza.

Nello specifico, nanoparticelle core-shell di CdSe in ZnS di dimensione 4 nm sono state utilizzate per ricoprire un vetrino mediante la tecnica di spin-coating. Inizialmente un'area di $60 \mu\text{m}^2$ è stata irradiata con una luce avente intensità 0,6 nW. La fluorescenza osservata fu uniforme. Dopodiché, vi è stata una eccitazione della luce su una superficie di $7,4 \mu\text{m}^2$ (operazione di scrittura). Dopo questa osservazione si è ritornato ad osservare la superficie totale sotto un'intensità della luce di 0,6 nW e si è osservata sull'area ove precedentemente vi era stato un aumento dell'intensità del raggio luminoso la stessa elevata fluorescenza (operazione di lettura) (vedi fig. 5). L'osservazione di questo fenomeno mostra la possibilità di utilizzare i quantum dot per memorie ottiche.

La preparazione delle nanoparticelle di CdS, CdSe e CdTe può essere ottenuta, come mostrato da Murrey, per pirolisi, in assenza di ossigeno, di reagenti metallorganici. E' possibile controllare la dimensione finale variando la temperatura di crescita. In particolare, l'autore citato utilizzò cadmio dimetile, quale sorgente di cadmio, e bis(trimethylsilyl)sulfide, bis(trimethylsilyl)selenide e trioctylphosphine telluride nel solventi tri-n-octylphosphine oxide (TOPO). Una soluzione mista dei composti del Cd e dell'altro elemento vengono inviati in un forno a 300 °C ove si trova il solvente.

Un secondo metodo per la produzione di tali nanoparticelle è basato sul metodo delle microemulsioni acqua in olio (vedi "Nanoparticelle per biomedicina").

In figura 6 sono riportate aziende internazionali impegnate nella produzione ed utilizzazione dei quantum dots.



TEM image of a quantum dot. It is seen the distribution of atoms. Copyright Quantum Dot Corporation, Hayward, CA, USA.

Figura 1

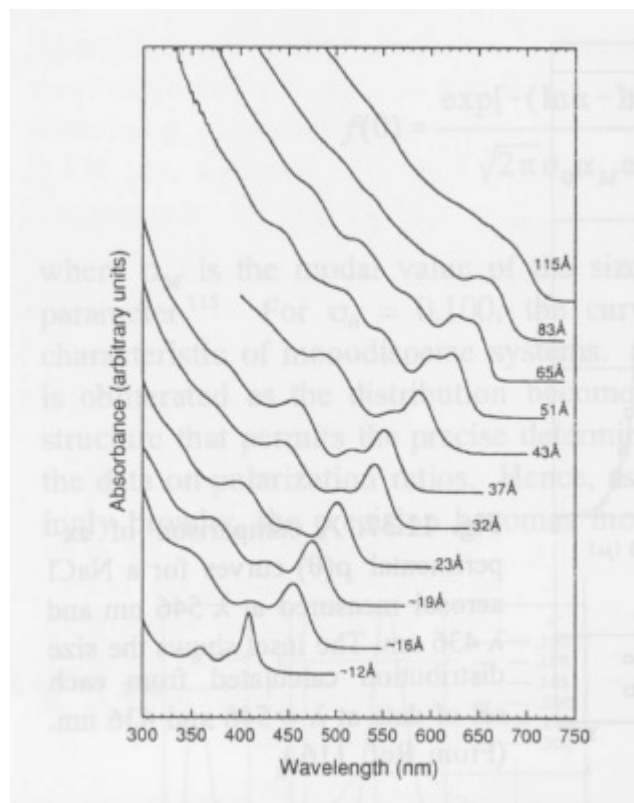


Figura 2 Spettri di assorbimento di nanoparticelle di CdSe con diverse dimensioni

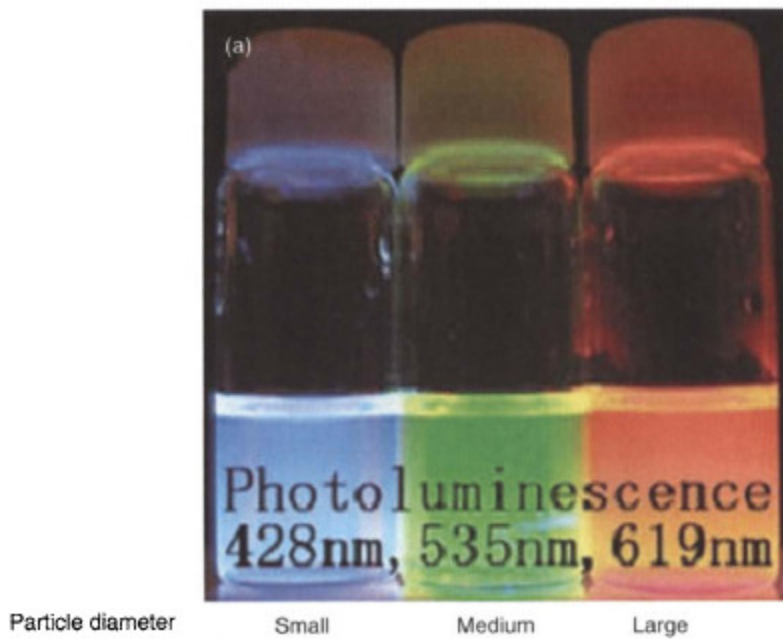


Figura 3 Fluorescenza di nanoparticelle di CdSe in funzione della dimensione

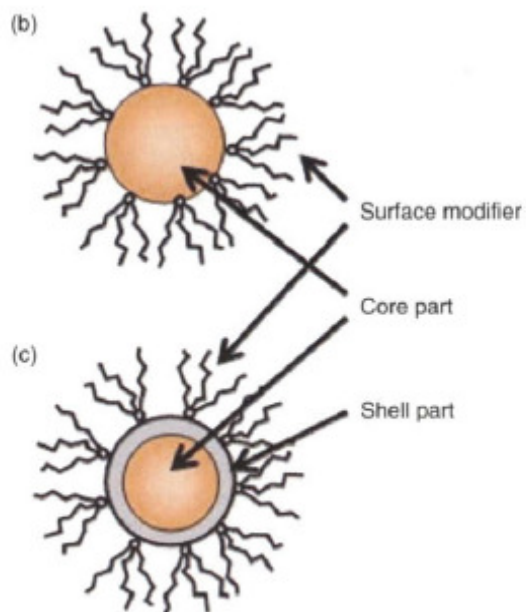


Figura 4 Nanoparticelle di CdSe con agente disagglomerante esterno (b) e con uno shell ed agente disagglomerante (c)

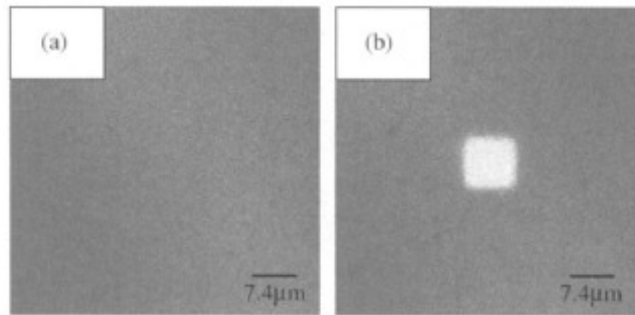


Figura 5: immagine della fluorescenza a) prima della “scrittura”; b) dopo la scrittura

Companies Working with Quantum Dots

Company	Activity
ASM INTERNATIONAL	Researching a process for the production of silicon quantum dots on aluminum oxide.
BIOCRISTAL	Produce a labeling technique for living tissues using quantum dots.
BIODOT CORP.	Have commercialized a technology using quantum-dot microbeads for tagging biological molecules.
EVIDENT TECHNOLOGIES	Produce a DNA probe, consisting of quantum dots attached to DNA.
FUJITSU	Doing research into quantum dots (growth, study, and applications).
HEWLETT-PACKARD CO.	The molecular electronics program of the Quantum Science Research Group has three components: defect-tolerant architectures, nanostructure fabrication (quantum dots and nanowires), and molecular switches.
HYNIX SEMICONDUCTOR INC.	Have patented a method for the production of semiconductor quantum dot memories.
MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL	Have developed a method for arranging metallic nanoparticles on a silicon wafer, with applications in production of quantum dots and related devices.
MP TECHNOLOGIES LLC	R&D on quantum dot applications with a main focus on optoelectronic devices.
NANOSYS INC.	Focused on the development of nanotechnology-enabled systems incorporating zero and one-dimensional nanometer-scale materials such as nanowires, nanotubes and nanodots (quantum dots).
NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE	Their NTT laboratories are working on single electron transistor technology and its applications in circuits.
NEC	R&D projects include single electron transistors.
QUANTUM DOT CORP.	Develop and commercialize labeling technology using semiconductor quantum dots.
QUANTUM LOGIC DEVICES	Develop single electron transistor platforms for applications in electronics as well as a variety of chemical sensing markets.
SAMSUNG CORP.	R&D activities include single electron transistors.
SI DIAMOND TECHNOLOGY INC.	Have patented a silicon quantum dot that exhibits bright fluorescent radiation in the visible range.
SYSTINE INC.	Are conducting research and development on massively parallel fabrication processes for nanometer-sized quantum dot structures on silicon.
TOSHIBA	Research includes quantum dots in silicon — they have developed a single photon emitter combining LED and quantum dot technologies.
ZIA LASER	Develop and commercialize quantum dot lasers.

Figura 6 Compagnie impegnate nella produzione ed applicazioni di quantum dots