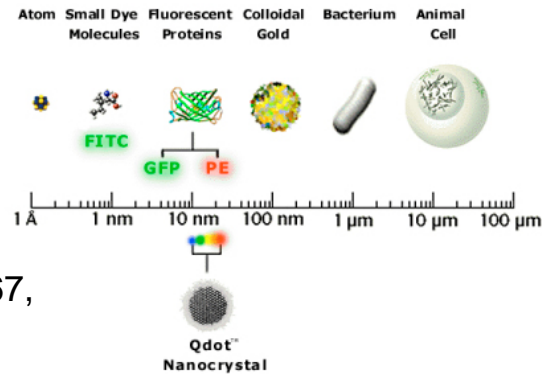


Pooljuhtide nanostruktuurid (Kvantpunkt)

Rait Rand

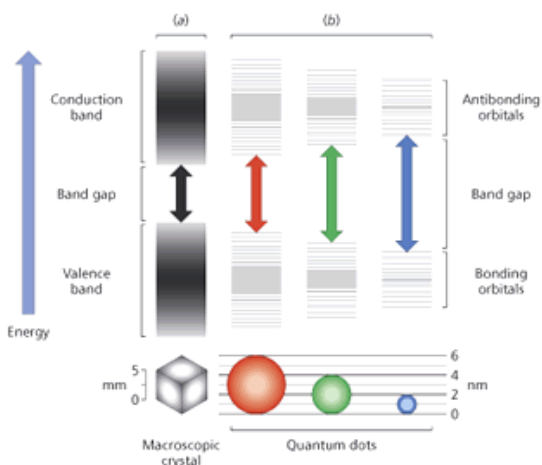
Sissejuhatus

- Kui pisikeseks on võimalik seadmed saada?
- Kvantpunkt (QDot)
- Kvantjuhe (Qwire)
- Kvantkaev (QWell)
- Esmalt tähendatud 1967, 1980-datel hakati kvantpunkte uurima.



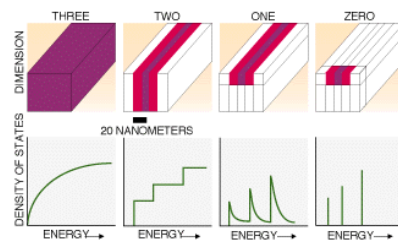
Semiconductor quantum dots (QDs) are nanostructures where strong carrier confinement in three dimensions gives rise to a quantised energy spectrum. The control of discrete electronic states in a semiconductor allows the tailoring of optical properties, leading to photonic devices with improved performance. Moreover, the control of light-matter interaction at the single electron-single photon level opens new avenues in the fields of quantum optics and quantum computing.

Kvantpunkt - energiatasemed



Pooljuhtkristalli järkjärgulisel vähendamisel on 2 tagajärge.

1. Tsoonid lakkavad olemast pidevad (joonis b)
2. Valents-tsooni ja juhtivustsoonist kaovad ära äärmised olekud ning keelutsoon laieneb.



Pooljuhtkristallilt järk-järgult pinnalt aatomi kihte eemaldades. Kristalli vähenedes juhtub 2 asja:

1. Iga "band" lakkab olemast pidev. Eristuvad iga orbitaali olekud (joonis b)
2. Valentsi tsooni ja juhtivustsoonidest kaovad ära äärmised olekud (keelutsoon laieneb)

Kvant on ta seetõttu, et olekud ei ole enam pidevad vaid diskreetsed ja punkt seetõttu et kristall on väga väike

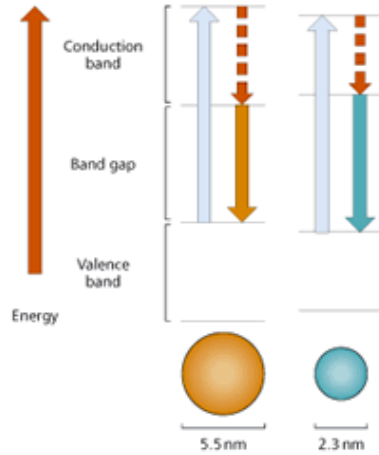
Fermi-Dirac jaotusfunktsioon (Pauli printsiip)

Suppose we were to shrink the semiconductor crystal by gradually removing atoms from its surface. As each atom is taken away, its orbital contributions to both valence and conduction bands are taken away too. As the crystal continues to shrink, two things happen. First, each band ceases to become a continuum of orbitals, and individual orbitals are revealed (*Fig (b), below left*). Secondly, orbital removal from the band edges, where the orbital population was sparse to begin with, leads to an increase in the band gap. At this point, the crystal becomes a quantum dot: 'quantum' because the energy levels in the valence and conduction bands are no longer a continuum, but are discrete or quantised, and 'dot' because the onset of these effects occurs when the crystal becomes very small. Further removal of atoms leads to enhancement of the quantisation effect, and a steady increase in the band gap. In other words, as the dot gets smaller, the band gap gets bigger.

Kvantpunkt - fotoemissioon

Miks tekivad fotoemissioonil erinevad värvid mis sõltuvad kvantpunkti mõõtmetest?

1. Kiiritades CdSe kvantpunkti ultraviolett kiirgusega liigub elektron valents-tsoonist juhtivustsooni (helesinine nool)
2. Elektroni soojuskiirgusena ära antav energia (punane katkend-nool)
3. Langedes juhtivus-tsoonist uuesti valentstsooni kiirgab elektron üleliigse energia ära valgusena (oranz ja sinine nool)



Energia mis on vaja elektronile anda et liiguks ühest tsoonist teise on enam-vähem sama.

Seega saab kasutada samat kiirgusallikat mõlema kvantpunkti jaoks.

Kuna väiksemal kristallil on keelutsoon laiem, siis kiirgata energia kogus on suurem.

Footoni energia on pöördvõrdeline tema lainepikkusega siis ka kiiratava valguse värv on erinev.

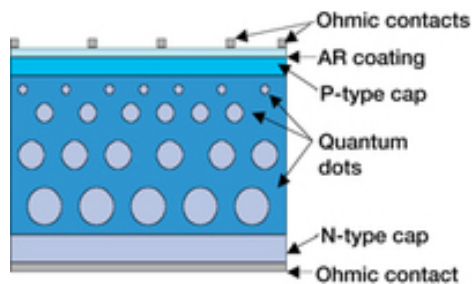
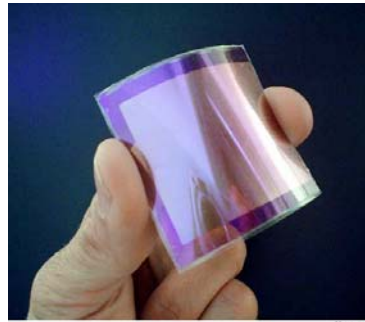
Seetõttu suurem kvantpunkt kiirgab punakalt (pikem lainepikkus) ja väiksem siniselt (lühem lainepikkus).

Returning to the 2.3 and 5.5nm cadmium selenide dots introduced in the main article, we can begin to understand their different colours. When the dots are irradiated with ultraviolet light, an electron is promoted from the valence band to the conduction band (light blue arrows seen *below right*, the individual orbitals in the bands have been omitted for clarity). Note that the energy required to promote the electron to the uppermost level in the conduction band is about the same for both dots, although their band gaps differ considerably - hence both dots can be excited by the same light source.

The electron then tumbles to the lowest energy level in the conduction band in a series of heat-emitting steps (the broken red arrows *below right*), whereupon it falls back to the valence band, this time emitting its excess energy as a photon of visible light (the orange and turquoise arrows), rather than heat. Now, since the band gap for the larger, 5.5nm, dot is narrower than that for the smaller, 2.3nm, dot, the larger dot emits a less energetic photon than the smaller dot. Because the energy of a photon is inversely proportional to its wavelength, the larger dot will emit light of a longer wavelength (ie towards the red end of the visible

Kvantpunktid - kasutusala

- Päikesepaneelides
 - Suurem kasutegur
 - “Seadistatav” keelutsoon
 - Võimalikud väiksed mõõtmised

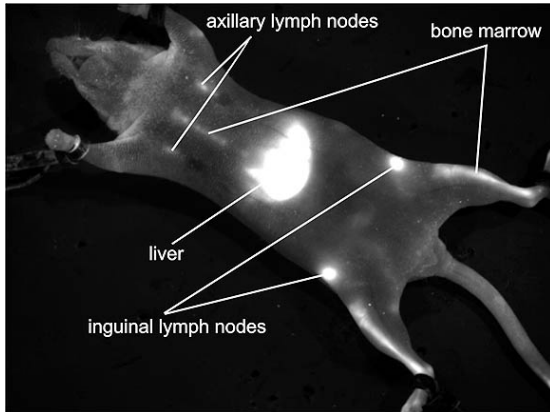


The NASA Glenn Research Center has been investigating the synthesis of quantum dots of CdSe and CuInS₂ for use in intermediate-bandgap solar cells. Using quantum dots in a solar cell to create an intermediate band will allow the harvesting of a much larger portion of the available solar spectrum. Theoretical studies predict a potential efficiency of 63.2 percent, which is approximately a factor of 2 better than any state-of-the-art devices available today (ref. 1). This technology is also applicable to thin-film devices--where it offers a potential four-fold increase in power-to-weight ratio over the state of the art.

Intermediate-bandgap solar cells require that quantum dots be sandwiched in an intrinsic region between the photovoltaic solar cell's ordinary *p*- and *n*-type regions (see the preceding figure). The quantum dots form the intermediate band of discrete states that allow subbandgap energies to be absorbed. However, when the current is extracted, it is limited by the bandgap, not the individual photon energies. The energy states of the quantum dot can be controlled by controlling the size of the dot. Ironically, the ground-state energy levels are inversely proportional to the size of the quantum dots.

Kvantpunktid - kasutusala

- Biotehnoloogias (biloloogiline jälgitavus)
 - Võimalik paljude erinevalt markeeritud rakkude jälgimine
 - Ergastades on väiksem võimalus rikkuda ära uuritav objekt
 - Stabiilsed ning kaua püsivad

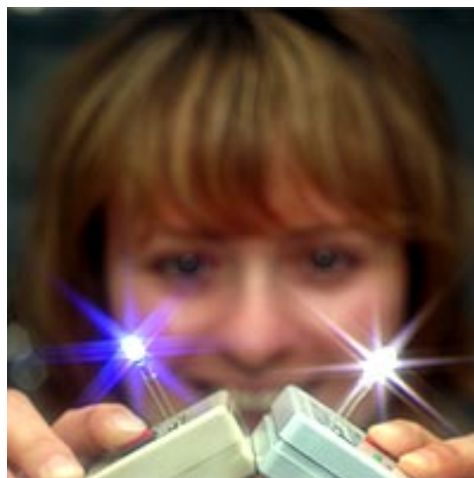


- Negatiivsed omadused
 - Raske kinnitada
 - Uurimise järgne eemaldamine uuritavast objektist

- Igat eri tüüpi molekuli võimalik märgistada erinevat värvi kvantpunktiga (kasutades filtreid ei sega kiirgused teineteist)
Praeguste jälgimismeetoditega on raske üle 2 erineva markeeringu jälgida ilma et nad teineteist segama hakkaksid
- Praeguste tehnikate juures võib erinevate ergastus-laserite kasutamisega rikkuda ära uuritava objekti.
Kvantpunktide puhul vajalik vaid 1 laser mis ergastab kõiki punkte (ergastava laseri lainepikkus peab olema väiksem kui punktide välja kiiratud lainepikkus)
- Kvantpunktide puhul võimalik kiirelt korduv uurimis-tsüklite tegemine. Tavalise "värvimise" korral on uurimise aeg piiratud 5-10min

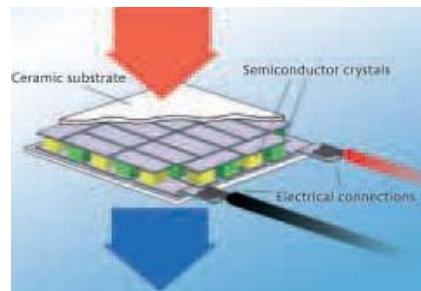
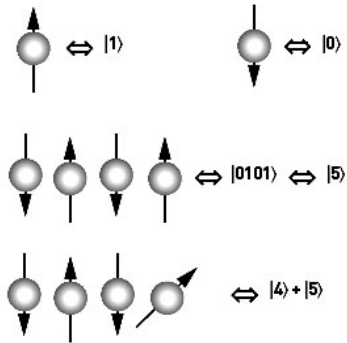
Kvantpunktid - kasutusala

- Valgust kiirgavad elemendid
 - Kiiratud lainepikkus hästi seadistatav
 - Ei vaja filtreid erinevate värvide tekitamiseks
 - Vähene voolutarve



Kvantpunktid - kasutusala

- Informatsiooni töötlemisel
 - Suurem jõudlus
 - Väiksem voolutarve
 - Suurem informatsiooni hulk
- Termoelektrilised kiled (T.J. Seebeck)
 - Kasutegur
- Jahutus-seadmed (Peltier)
 - Täpselt kontrollitav temperatuur
 - Väga õhukesed



- Thomas Johann Seebeck - läbi kahe erineva metalli kokkupuute kohta kulgev soojavoo kutsus esile elektrivoolu.
- Jahutus seadmed - Jean Charles Athanase Peltier 1834. aastal avastas efekti, et kahe erineva metalli kokkupuutekohast läbi juhitud elektrivool tekitab ühenduse ühel küljel soojust ja teisel pool külma.

Nende materjalide tootmises osalevad seadmed, mida kasutatakse LED-ide tootmiseks.

Seadmed katavad umbes ühe nanomeetri paksuse vismutitelluriidi kihi viie nanomeetri paksuse antimoni-telluriidi kihiga ja kordavad protsessi, kuni tekib pooljuhtkile: kui seda läbib elektrivool, muutub kile üks külg kuumaks, teine aga külmaks. Kilet saab väga peenelt töödelda, nii et seda saab kasutada kiipide ülimalt täpsusega jahutamiseks.

Täna tähelepanu eest