

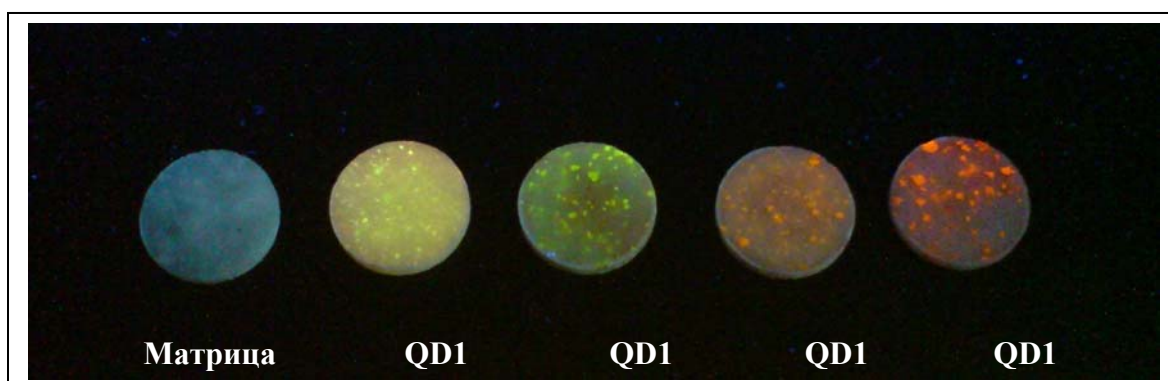
Фотолуминесценция на квантови точки от CdSe

1. Цели:

- Измерване на фотолуминесцентни спектри на квантови точки (нанокристали) от CdSe с различни размери (< 10 nm);
- определяне на ефективната ширина на забранената зона на квантовите точки;
- определяне на средния размер на квантовите точки за всеки от образците.

2. Апаратура:

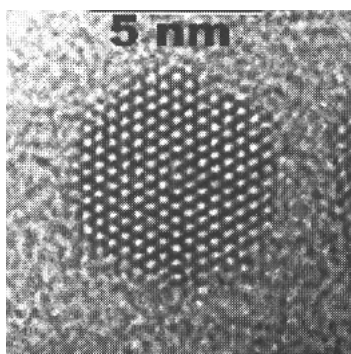
- Спектрометър USB4000; лазер за фотовъзбуждане 405 nm;
- четири образца с квантови точки от CdSe, вградени в матрица от KBr, означени с QD1; QD2; QD3; QD4 и един образец само от материала на матрицата. Образците са под формата на таблетки (фиг. 1).



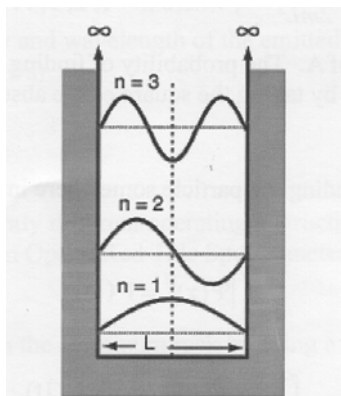
фиг. 1 Снимка на четирите образца с квантови точки от CdSe в състояние на луминесценция.

3. Въведение:

Ако ограничим движението на частица с маса m в дадено направление, (например електроните, намиращи се в полупроводникови наночастици с размер L като показаната на *фиг. 2*), можем да си представим, че тя се намира в безкрайно дълбока потенциална яма, наречена квантова яма (КЯ) с ширина L (виж *фиг. 3*). Допустимите енергетични състояния за електрон в квантова яма се пресмятат от уравнението на Шрьодингер, което предсказва появата на енергетични състояния (електронни нива), различни от състоянията на електрона в същия материал, но с неограничени размери. Тези състояния са известни като "ограничени състояния" в КЯ. Ефектът на промяна на състоянията на електроните в наноразмерни обекти е известен като "размерно квантуване".



фиг. 2 Снимка от Трансмисионен електронен микроскоп на 5nm квантова точка. Ярките точки на снимката са отделни атоми.



фиг. 3 Схематично представяне на безкрайно дълбока квантова яма с ширина L , с представени трите най-ниски енергетични състояния и техните вълнови функции.

Енергиите на тези състояния се дават с уравнението:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} n^2$$

ур. 1

При стойности за $n=1,2,3,\dots$ се получават първо, второ и т.н. електронни нива (фиг. 3). Тук съществена е зависимостта от L^2 в знаменател, т.е. колкото по-малко е L , толкова по-големи са стойностите на E_n . Ако наночастици от един и същи материал, но с различни размери луминесцират, те ще излъчват светлина с различна енергия, както се вижда на фиг. 1.

В този експеримент ще изследваме квантови точки от CdSe, като показаната на фиг. 2.

Това са полупроводникови нанокристали със среден размер L , в който електроните (ефективна маса $m_e=0.15m_0$, m_0 е масата на свободен електрон) в проводимата зона и дупките (ефективна маса $m_h=0.45m_0$) във валентната зона са ограничени във всички направления. Валентната зона в полупроводниците се дефинира, като най-високата енергетична зона, запълнена с електрони, а проводимата зона, като първата незапълнена зона над валентната. В обемните кристали от CdSe енергетичната разлика между дъното на проводимата и тавана на валентната зона (известна също като *забранена зона*) има стойност: $E_g=1.74$ eV.

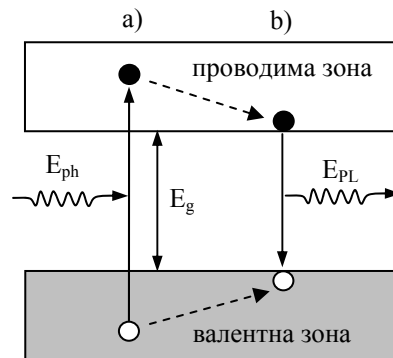
Уравнението на Шрьодингер предсказва, че ограничението на носителите на заряд води до увеличаване на забранената зона на квантовите точки (наноразмерните кристали). Ефективната забранена зона на квантовата точка се дава с уравнението:

$$E_g^{KT} = E_g + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2L^2} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right)$$

ур. 2

Тук сме използвали само $n=1$ от ур. 1, защото първото квантово ниво е най-вероятно да се запълни с електрон. При фотолуминесценцията на КТ, фотон с дължина на вълната λ и енергия $E_{ph} = \frac{hc}{\lambda}$ възбужда електрон (черно кръгче) от запълнената валентна зона в проводимата зона (на фиг. 4, процес а), при което във валентната зона остава дупка (бяло кръгче). Процесът е известен като "фотовъзбуждане" и изискването,

за да се случи, е енергията на възбуждащия фотон да е по-голяма от енергията на ефективната забранена зона: $E_{ph} > E_g^{KT}$



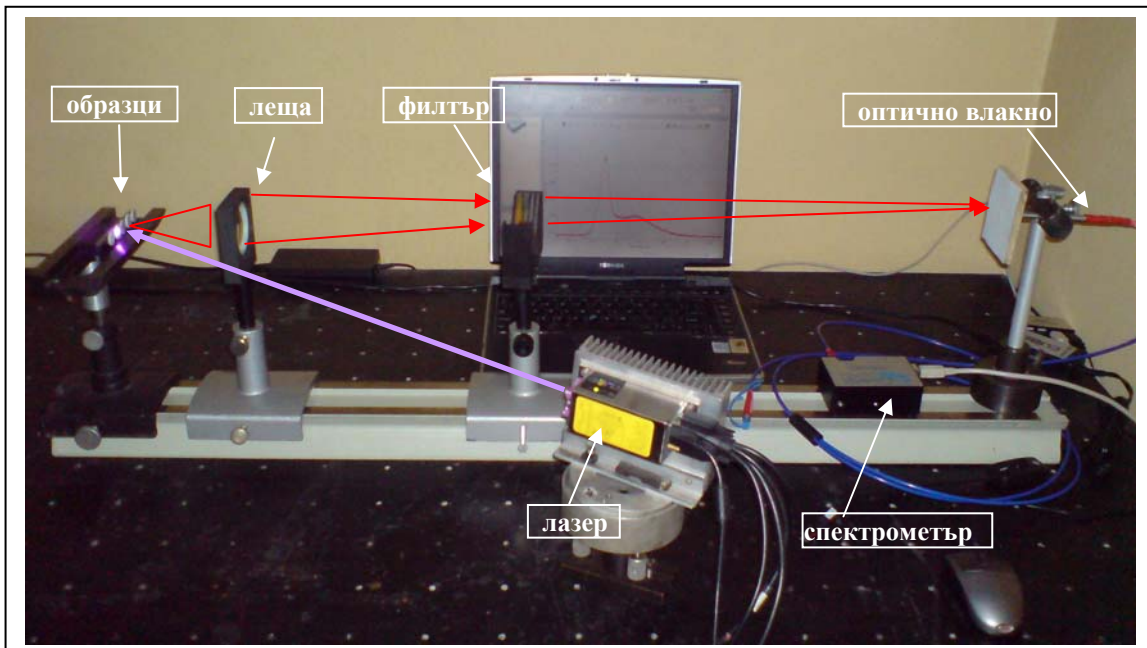
фиг. 4 Схематична диаграма на: (а) фотовъзбуждане, (б) фотолуминесцентна рекомбинация в полупроводник.

Възбудените електрони и дупки отдават енергия на кристалната решетка и достигат съответно, дъното на проводимата и тавана на валентната зони (процесите с пунктирани стрелки). Тогава те рекомбинират (електронът се свързва с дупката), както е показано на фиг. 4 (процес b), при което се излъчва фотон с енергия $E_{PL} = E_g^{KT}$.

При експеримента на фотолуминесценция, ще измерим енергията на излъчените фотони E_{PL} и така ще определим ефективната забранена зона на квантовите точки и от ур. 2 ще определим размера на квантовите точки в различните образци.

4. Експеримент

Експерименталната установка за измерване на фотолуминесценцията на квантовите точки е показана на фиг. 5.



фиг. 5 Снимка на експерименталната установка за измерване на фотолуминесценция, с означени различните елементи в нея.

Образците се възбуждат оптично с лазер с дължина на вълната 405 nm, която изпълнява условието $E_{ph} > E_g^{KT}$ за четирите образеца с квантови точки. Излъчената луминесценция от възбуждания образец се събира от леща и се фокусира в единия край на оптично влакно. Между лещата и оптичното влакно е поставен филтър, който спира светлината с енергия на лазера и по-голяма от нея. Другият край на оптичното влакно е закачен за спектрометър, който диспергира светлината и измерва интензитета за различните дължини на вълната посредством CCD детектор. Диспергиращият елемент е дифракционна решетка. CCD детектора измерва диапазона 350-1000nm едновременно. Спектрометърът е свързан чрез USB кабел с компютър, на който се визуализира измервания спектър.

5. Процедура на измерване:

Включете лазера. Включете спектрометъра да измерва. Позиционирайте държателя с образците така, че образец Q1 да бъде осветен от лазерния лъч. Чрез малко преместване на лещата фокусирайте образа върху екрана с оптичното влакно. Преместете оптичното влакно така, че върху него да попада по-интензивно светеща област. Запишете спектъра на излъчване на образеца.

Повторете процедурата за останалите образци Q2, Q3, Q4 и матрицата.

Обърнете внимание, че матрицата не дава принос към луминесценцията на квантовите точки.

От максимумите на луминесценцията може да се определи ефективната ширина на забранената зона на различните квантови точки, предвид че: $E[eV] = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1239.8}{\lambda[nm]}$

От ефективната ширина на забранената зона може да се определи средния размер на квантовите точки, където съгласно ур.2:

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \hbar^2}{2(E_g - E_g^{KT})} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right)} \quad \text{или} \quad L[nm] = \sqrt{\frac{3.969}{E_g - E_g^{KT} [eV]}}$$

образец	λ , nm	E_g^{KT} , eV	среден размер L, nm
QD1			
QD2			
QD3			
QD4			

6. Мерки за безопасност:

Кадмият е тежък отровен метал и трябва да се вземат специални мерки при работа с него. Селенидите са отровни в големи количества. Кадмиевия селенид е известно, че е **канцерогенен** и трябва да се потърси медицинска помощ при контакт с кожата, очите или ако се погълне !

При работа с **лазерно лъчение** трябва да се внимава то да не попадне в очите на работещите с него !