

ВЪЗМОЖНИ ПРИБОРНИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА НЯКОИ НАНОСТРУКТУРИ В ТРАНСПОРТА

Аделина Митева

admiteva@phys.bas.bg

ИКИ-БАН 1000 София, ул. "Московска" №6
БЪЛГАРИЯ

Резюме: В това съобщение се прави кратко описание на съществуващите наноструктури и по-специално на полупроводниковите наноструктури, а именно квантови ями, свръхрешетки, квантови жици и квантови точки. Разгледани са някои от многото фактически и възможни практически приложения на тези наноструктури в транспорта

Ключови думи: нанотехнологии, наноструктури, полупроводникови наноструктури, квантови ями, свръхрешетки, метод на силната връзка, транспорт, моделиране на наноструктури

УВОД

Работата е мотивирана от огромния интерес към нанотехнологиите и полупроводниковите наноструктури [1,2,3]. Полупроводниковите хетероструктури и особено двойните хетероструктури, в това число квантовите ями, жици, и точки, днес са предмет на изследване на две трети от физиците, занимаващи се с полупроводници [1].

Нанотехнологиите са в различна степен практически приложими във всички важни области на промишлеността и всекидневния живот, в частност, и в транспорта. Тяхната приложна, инженерна (иновационна) реализация е непосредствено свързана с развитието на фундаменталните аспекти на нанотехнологиите (наноуаката) и с начините на изследване на нанобектите. Говорим за наноструктура или нанобект, когато поне единият от размерите му е по-малък от 100 nm. Тогава физическите свойства на нанобекта стават зависими от размера, а физиката на явленията се описва от квантовата механика.

Целта на работата е да подчертае ролята на нанотехнологиите в съвременното общество на примера на многобройните им приложения в транспорта, днес и в бъдеще.

Наноструктурите могат да са с три (квантови точки), две (квантови жици) или едно (квантови ями, свръхрешетки) измерения или размерности. Определяме размерността на наноструктурите като брой на измеренията в които е нарушена трансляционната им симетрия [1].

ПРИБОРНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Съвременните електронни и оптоелектронни устройства се приближават до нанометрични размери и използват наноструктури основани на полупроводникови хетеропреходи. Устройства на основата на едномерни наноструктури (квантови ями и свръхрешетки) вече се предлагат на пазара. Например, електронни устройства основани на квантови ями (QWs), като транзистори с висока подвижност на електроните (HEMT) са показали забележителни характеристики достигайки гранични честоти от няколко стотин GHz. Те се прилагат включително и в сателитната телевизия. Дълговълновите лазери, за съвременните телекомуникации и в линиите за връзка на оптически влакна, имат активни области съдържащи поредица от

QWs, получени от хетеропреход от два или повече полупроводника. Нанотехнологиите днес се използват за производството на микрочипове, за материали в устройства, предназначени за транспорта в космическата индустрия. Слънчевите елементи на основата на хетероструктури широко се използват, подпомагайки транспорта, както в космоса, така и на земята. Например космическата станция “Мир” почти 10 години използва слънчеви батерии на основата на хетероструктурата AlGaAs. Лазери на основата на двойна хетероструктура присъстват практически във всеки дом, а и в много от транспортните средства, под образа на CD и DVD устройства, лазерни принтери.

Ще приведа още един пример. Около 20 % от цялата произвеждана на земята енергия се изразходва за осветление. Но ако преминем от лампи на светодиоди (а те са нанопроduct в чист вид), то разходите за енергия за осветление ще се съкратят на порядък. Следователно, желателно е цялото осветление, в това число и в транспорта, да е на светодиоди.

ОБЕМНИ НАНОМАТЕРИАЛИ

Това са съвременни, конструкционни, функционални материали за приложения в целия транспорт: авиационен, автомобилен, воден, железопътен, градски, промишлен, тръбопроводен и космически транспорт. Тези наноструктурирани обемни наноматериали (най-често сплави), композити на основата на керамика и полимери, съдържат нанообекти (като карбиди, оксиди, въглеродни наноматериали), стъклокерамика и други. В строителството на транспортни средства и съоръжения се използват наноматериали като: нанобетон, различни видове лакове и бои, антикорозионни покрития, всички получени чрез нанотехнологии. Във водния и космически транспорт се използват произведени чрез нанотехнологии: филтри за почистване на вода; дрехи с различни импрегнирания на тъканите, променящи свойствата им.

Днес наноприсадки възстановяват износената техника. Такъв е например нанодисперсният, антифрикционен, противоизносен състав “Стрибойл” [4]. Той, въведен заедно със смазката в механичния възел, не само възстановява износените повърхности на триещите се детайли, но и

напълно възстановява паспортните характеристики на техническия обект. При това, което не е никак маловажно, не се налага да се спира работата и да се разглобява обработваната транспортна техника.

НАУКОЕМКИ НАНОТЕХНОЛОГИИ И ФУНДАМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Това са нанотехнологии, основани на генерацията на нови материали, нови идеи, използващи най-съвременно оборудване. Те не могат да бъдат веднага промишлено произведени, но са начин да се създаде резерв за развитието на производството на нови високотехнологични материали и устройства, така и за създаването на нова интелектуална собственост.

Това са и развитието на фундаменталните изследвания в областта на нанотехнологиите за транспорта за отдалечена в бъдеще перспектива, търсене на нови ефекти и принципи на функциониране, търсене на нови, още не съществуващи материали. Целта на тези изследвания е да се осигури едно постъпателно и дългосрочно развитие на тези нанотехнологии.

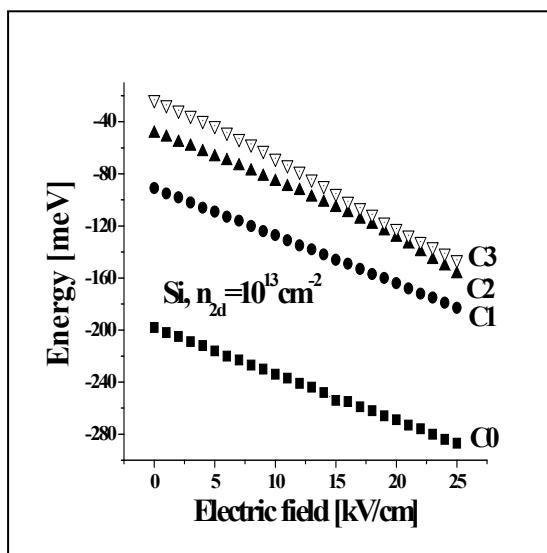
МОДЕЛИРАНЕ НА НОВИ МАТЕРИАЛИ И УСТРОЙСТВА ЗА ОПТОЕЛЕКТРОННИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Два са основните теоретични методи, които се използват за атомистичното описание на наноструктури и наноструктурни устройства – метода на силната връзка (ТВ) и метода на емпиричния псевдопотенциал [2,3,5]. От двата, ТВ методът изисква по-малко компютърно време. Тук ще изброим някои пресмятания по метода на силната връзка в диапазона от единична квантова яма [6,7,8] до наноструктурни устройства [9,10] в присъствието на електрично поле. Това е особено важно, тъй като много от полупроводниковите устройства, в това число, основаните на квантови ями и свръхрешетки, работят при приложено електрично поле.

При прилагане на постоянно външно електрично поле перпендикулярно на слоевете на квантовата яма (QW), се проявява ефект, съществено уникален за QWs и свръхрешетки [2]. Този ефект е известен като квантов ефект на Щарк (QCSE) и позволява направата на много и различни уреди,

включително оптични модулатори, най-различни оптични логични устройства и други [1,2,3,11].

При прилагане електрично поле енергетичните нива в QW се отместват от позициите си, които имат без приложено електрично поле. Това отместване е известно като квантово отместване на Щарк. Или с други думи, отместването на Щарк се състои в намаляване (което може да е много голямо) на енергията на даден оптичен преход в QW при приложено към нея електрично поле. Това е показано на фигура 1, където са представени зависимостите на пресметнатите [8] (по ТВ метода) електронни енергийни нива в зависимост от напрегнатостта на приложеното постоянно външно електрично поле за една Si делта легирана GaAs QW (при концентрация на Si донорната примес $n_{2d} = 10^{13} \text{ cm}^{-2}$).



Фигура 1. Електронните енергийни нива в зависимост от напрегнатостта на приложеното постоянно електрично поле за Si делта легирана GaAs QW. Концентрацията на донорната примес Si е 10^{13} cm^{-2} . Нивата на електронните енергии: C0 (квадрати) – основното енергийно ниво; C1 (кръгове), C2 (запълнени триъгълници) и C3 (празни триъгълници) са съответно трите възбудени електронни енергийни нива в посока отдолу нагоре.

Съвременната техника на кристално израстване, а именно молекулярно-лъчевата епитаксия, позволява легирането на полупроводниците да се извършва с точност до атомно разрешение (легиране дори в един слой, т.е. делта легиране). Създаването на

делта легираните полупроводникови наноструктури, позволява тяхното експериментално и теоретично изследване, и практическо приложение. Тези структури се прилагат при различни мощни делта полевни транзистори [9,10] и за инфрачервени уреди, основани на преходи на електрони между подзоните на една енергетична зона [7,8]. Пресмятанията по ТВ метода на QCSE в делта легирани QWs [6,7,8] са много обещаващи в търсенето и намирането на структури, с най-добри отмествания на Щарк за потенциални приборни приложения. Пресмятанията по ТВ метода са освен това и много подходящи за характеризиране на различни уреди [9,10], тъй като позволяват намирането на оптималните стойности на входните параметри при конструирането на уредите.

ИЗВОДИ

Не природните ресурси (за съжаление, България е бедна на такива), а високите технологии (от които най-приоритетни са нанотехнологиите) създават основните доходи в една държава. Ето защо трябва да последваме примера на развитите икономически страни, като Япония, САЩ, Китай и някои от държавите от Евросъюза (Германия, Франция), и да вложим средства и усилия в развитието им, както в момента прави Русия. Разбира се, тук трябва да се наблегне на онези нанотехнологии, в които ние бихме могли да допринесем нещо или поне нещичко ново в тази област на човешкото знание, като при това се използват по възможност минимални финансови средства. Например, такива биха могли да бъдат теоретичните фундаментални изследвания и моделирането на нови материали и устройства. Авторът е изложил своето разбиране по въпроса и така е направил изводите си.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Alferov Z. I., The double heterostructure concept and its applications in physics, electronics and technology, Rev. Mod. Phys., v.73, p.769-782, 2001.
- [2] Bastard G., Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Edition de Physique, Les Ulis Cedex, 1988.
- [3] Di Carlo A., Microscopic theory of nanostructured semiconductor devices: beyond

the envelope-function approximation, *Semicond. Sci. Technol.*, v.18, p.R1-R31, 2003.

[4] <http://www.nanonewsnet.ru/news/2009>

[5] Harrison W. A., *Electronic Structure and the Properties of Solids*, Freeman, San Francisco, 1980.

[6] Vlaev S., Gaggero-Sager L. M., Thomas-Fermi approximation in a tight-binding calculation of δ -doped quantum wells in GaAs, *Phys. Rev. B*, v.58, p.1142-1145, 1998.

[7] Miteva A. M., Vlaev S. J., Donchev V. T., Stark Effect in p-type Delta-doped Quantum Wells, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, v.2, p.45-52, 2008.

[8] Miteva A. M., Vlaev S. J., Donchev V. T., Gaggero-Sager L. M., Quantum confined Stark

effect in n-type delta-doped quantum wells, *Rev. Mex. Fis. S*, v.53, p.74-77, 2007.

[9] Martinez-Orozco J. C., Gaggero-Sager L. M., Vlaev S. J., A simple model for the differential capacitance profile in the atomic layer doped field effect transistor (ALD-FET) in GaAs, *Mater. Sci. Eng. B*, v.84, p.155-158, 2001.

[10] Martínez-Orozco J. C., Rodrigues-Vargas I., Vlaev S. J., Gaggero-Sager L. M., Tight-binding calculation of delta-doped field effect transistor, *Rev. Mex. Fis. S*, v.53, p.128-131, 2007.

[11] Schöll E., Modelling of devices for optoelectronics: The quantum confined Stark effect and self-electrooptic effect devices, *Tr. J. of Physics*, v.23, p.635-648, 1999.

POSSIBLE DEVICE APPLICATIONS OF SOME NANOSTRUCTURES IN TRANSPORT

Adelina Miteva Miteva

admiteva@phys.bas.bg

Space Research Institute, Bulgarian academy of Sciences

Moskovska Str. 6, 1000 Sofia

BULGARIA

Key words: *nanotechnology, nanostructures ,semiconductor nanostructures, quantum wells, superlattices, tight-binding method, transport, nanostructure modeling*

Abstract: *The purpose of this review is to introduce briefly the semiconductor nanostructures, namely quantum wells, superlattices, quantum wires and quantum dots. We show some of the numeral practical applications of these nanostructures in transport*