

APPLICATION OF NANOELECTRONICS IN OPTICAL COMMUNICATIONS

Prof. Dr. of Sc. eng. Ivan Kolev, PhD eng. E. Koleva
Technical University of Gabrovo

Abstract: Examined are the latest concepts of nanoelectronics used in optical communications as one photonics, nanophotonics, nanooptics, quantum dot, quantum wire, quantum well, superlattice, (Wannier)-Stark ladder, tunnel transparent barrier structure, exciton, plasmon, phasmon polariton, surface phasmon polariton, SPASER, SASER, carbon nanotube.

Keywords: nanoelectronics, quantum dot, quantum wire, quantum well, nanolaser, photoreceiver, nanofiber, optical communications, saser, spaser, carbon nanotube.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА НАОЕЛЕКТРОНИКАТА В ОПТИЧНИТЕ КОМУНИКАЦИИ

проф. д-тн инж. Иван Колев, д-р инж. Е. Колева
ТУ- Габрово

Резюме: Разгледани са най-новите понятия от наноелектрониката, които се използват в оптичните комуникации като еднофотоника, нанофотоника, нанооптика, квантова точка, квантов проводник, квантова яма, свръхрешетка, стълба на (Вание)-Щарк, структура с тунелно-прозрачни бариери, екситон, плазмон, плазмонен поляритон, плазмонен повърхностен поляритон, сазер, спазер, въглеродна нанотръба.

Ключови думи: наноелектроника, нанолазер, фотоприемник, нановлакно, оптични комуникации, сазер, спазер, въглеродна нанотръба и др.

Увод. Нанотехнологиите ще доведат до следните предимства на нанооптичните комуникации в сравнение с известните сега оптични комуникации. Намаление на праговия ток на лазерните диоди, намаляване обема на източниците на оптично лъчение (лазери, светодиоди), на фотоприемниците, на вълноводите; намаляване на тяхното тегло и обем, увеличаване на бързодействието им и увеличаване на тяхната механична здравина.

Изложение

Основни научни области свързани с наноелектрониката

Едноелектроника

One electronics

Едноелектрониката е област от физиката, занимаваща се с изучаване на устройствата, работата на които е основана на контролирано движение на отделни електрони, даже на един отделен електрон. Разработени са тунелни едноелектронни преходи (*TSEJ*). Тунелният преход може да се осъществи на основата на кондензатори. В устройствата

на едноелектрониката и молекулярната електроника транспортът се осъществява чрез тунелния ефект (*Tunnel effect*). Един бит информация е пренасяне от един електрон. Пример за такива устройства са едноелектронните транзистори (*SET*), тунелните едноелектронни транзистори (*TSET*). При тях времето на преместване на електрона се определя от процеса на тунелиране и може да бъде много малко. Други примери са едноелектронните диоди (*SED*), резонансно-тунелните диоди (*RTD*), транзистори, изключващ чрез един електрон (*SESO* транзистори), полевни транзистори с карбонови нанотръби (*CNTFET*), работещи при стайна температура с възможност за цифрова комутация на един електрон, едноелектронни логически схеми (*SELC*), едноелектронните паметни (*SEM*), едноелектронни клетъчни автомати (*SECA*), едноелектронните кутии (*SEB*), квантови точки (*QD*), едноелектронната спектроскопия (*SES*), едноелектронен импулс (*SEP*) и др.

Брояч на електрони (Electron counter). Система от много последователно съединени тунелни кондензатори може да служи в качеството на брояч на електрони и да позволява контролирано преместване на единични електрони. Броячът на електрони може да се използва за целите на метрологията- *квантов стандарт за ток (Quantum current standard)*.

В момента за квантов еталон за *напрежение* служи Джозефсоновски преход (*Josephson junction*), а за квантов еталон за *съпротивление* елемент на квантов ефект на Хол (*QHE*).

Едноелектронен уловител (Single Electron Trap, SET)- наноструктура на основата на еднородни вериги на свръхмалки тунелни преходи, характеризираща се със способността да удържа на остров (*Island*) за съхранение излишния заряд на няколко електрона. Изменението състоянието на уловителя се регистрира от едноелектронни транзистори (*SET*). При работна температура *35 mK (Milli-Kelvin)* времето за запомняне на зарядното състояние може да бъде повече от *8 h* (часа).

Електроника, молекулярна

Molecular electronics

Молеетроника

Moletronics

Елементите на електрическите схеми се явяват отделни молекули или молекулярни комплекси. Целта е да се заменят традиционните електронни елементи с молекули. Молекулярната електроника е едно от най-важните направления от развитието на нанотехнологиите, представлява област за приложение на молекулите и молекулярните материали, позволяващи производство, приемане и обработка на информация.

Молекулярната електроника обхваща изучаване на принципите на работа и построяването на изкуствени молекулярни подредени структури за запомняне, обработка и предаване на голям обем информация. Перспективите за развитие на молекулярната електроника са свързани със създаване на молекулярни информационно-изчислителни системи, приличащи по принцип на работа и възможности на *човешкия мозък*.

Други устройства на молекулярната електроника- логически елементи, изправители, молекулярни проводници, свръхпроводници, молекулярни транзистори, молекулярни полевни триоди, функционален прибор на ефекта на Хол, молекулярни превключватели (*Ротаксан, Rotaxane*), органични фотоволтаични клетки (*OPVC*), органични светодиоди (*OLED*), органични полевни транзистори (*OFET*), електрохимически сензори и преобразуватели, едномолекулярни магнити (*SMM*), *ДНК (ДНА)* компютинг и в бъдеще молекулярни компютри. При *молекулярните компютри* размерите на процесора ще бъдат десетки хиляди пъти по-малки в сравнение с тези при съвременните компютри,

основани на силициевите микропроцесорни технологии, а производителността им ще бъде повече от милион пъти по-висока.

Главни структурни елементи на молекулярната електроника за Фарадееви (*Faraday*) и нефарадееви прибори се явява течният диод-аналог на двуелектродната лампа.

Молекулярната електроника се разделя на биомолекулярна, интрамолекулярна, макромолекулярна, наномолекулярна, супра-молекулярна и др.

Молекулярната електрониката и едноелектрониката могат да се разглеждат като *пределна степен на миниатюризация на електрониката*.

На базата на молекулярната електроника и спинтрониката се заражда ново направление- *молекулярна спинтроника (Molecular spintronics)*.

Едно от направленията на молекулярната електроника е органичната електроника.

Електроника, органична (полимерна), Organic electronics

Политроника

(Polymeric electronics), Polytronics

Традиционната електроника е неорганична. *Полимерна или органична електроника* или политрониката представлява градивни елементи от органични и в частност от полимерни молекули с размери в нанометровия обхват, които изпълняват ролята на пасивни и активни елементи.

От полимерите се произвеждат полимерни полупроводници. Основни устройства на полимерната електроника са *органични светодиоди (OLED)* и органични дисплей, включително и гъвкави, многослойни органични светодиоди (*MLOLED*), бели органични светодиоди (*WOLED*), органични светоизлъчващи транзистори (*OLET*), органични фотоволтаични батерии (*OPVC*), включително и гъвкави, органични полевни транзистори (*OFET*), органични тънкослойни полевни транзистори (*OTFTFET*) и интегрални схеми (*IC*) на тяхна основа, химически и биологически сензори, включително и печатни сензори (*Printed sensors*), сензори за допир с кожата (*Touch skin*), печатни антени (*Printed antennas*), гъвкави литий-полимерни (*Li-Pol*) батерии, тримерни (*3D*) принтери, свръхвисококачествотни (*CBЧ, SHF*) изправители, ретранслатори, слънчеви Стирлинг (*Solar Stirling*) двигатели, чипове за радиочестотна и оптична радиочестотна идентификация (*RFID, ORFID*), електронни книги (*Electronics books*), „умни” опаковки (*Smart packagings*) и др.

Наноелектроника (NE)

NanoElectronics (NE)

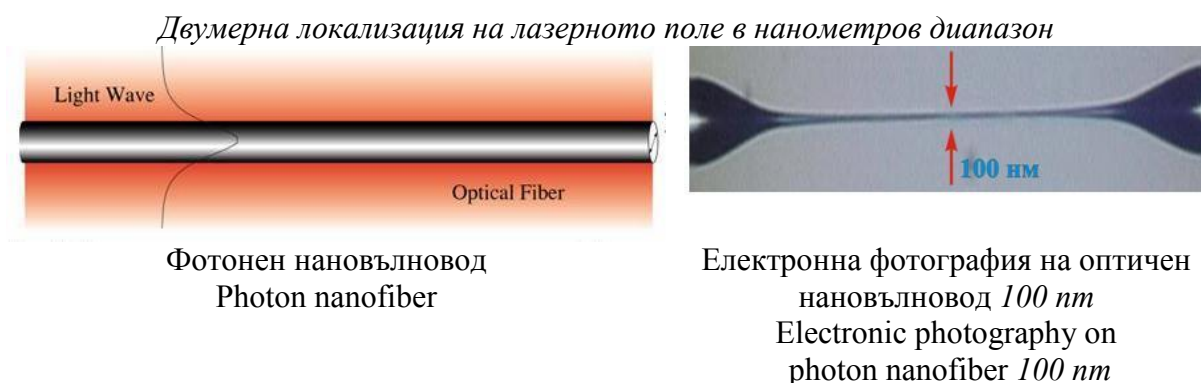
Наноелектрониката е област от електрониката в която при работа на устройствата стават съществени квантовите свойства.

Нанотехнологиите са методи за получаване на функционални системи (наноматериали, наноелементи и системи с тях) с размери на отделните елементи и структурни клетки, сравними с молекулярните размери т.е. от части на нанометъра *nm* (наноелектроника) до пикометри *pm* (пикоелектроника). Прието е една структура да е с наноразмери, ако те са в границата от *0,1 nm* до *100 nm*.

Наноразмерна структура е такава структура, линейният размер на която в едно направление трябва да е в нанометровия диапазон.

Основни елементи на *нанооптоелектрониката*: източници на светлина- **лазерните диоди** (*MMQWLD, MQWLD, PCLD, QCLD, QDLD, QWCNL, QWILD, QWLD* (на квантови ями), *QWLD* (на квантови проводници), *QWNL, SQWLD, VCSEL, VECSEL*), на квантови точки (*QDLD, SQDLD*), спин поляризирани (*SPVCSEL*),

спазери (SPASERs), сазери (Sasers); светодиоди- органичните светодиоди (*OLED*) като излъчватели за дисплей, светодиоди на квантови точки (*QDLED*), светодиоди на квантови ями (*QWLED*), светодиоди на много квантови ями (*MQWLED*), светодиоди на квантови проводници (*QWLED*), резонансно-тунелни светодиоди (*RTLED*), спинотронни светодиоди, многоцветни светодиоди с висок квантов изход; **фотоприемници** на квантови проводници (*QWPD, QWIRPD*), фотоприемници на квантови ями (*QWPD, QWIRPD*), фотоприемници на квантови точки (*QDPD, CQDPD*) и др.



Нанооптика

Nanooptics

Нанооптиката е раздел от оптиката и нанотехнологиите в които се използва светлина, локализирана в пространство много по-малко от дължината на вълната λ или в обем много по-малък от λ , т.е. в нанометров мащаб и то близо и даже под дифракционния предел. Нанооптиката изучава взаимодействието на излъчването на наноразмерното поле с атомите, молекулите и нанотелата. Основният интерес за нанооптиката е обусловен от възможността за преодоляване на *дифракционния предел (Diffraction limit)* в пространственото разрешение на вълновата микроскопия (*Spatial resolution of the wave microscopy*). Съгласно критерия на Релей (*Rayleigh criterion*), минималният размер на различимия обект е малко по-малък от дължината на вълната на използваната светлина и е ограничено от дифракционното излъчване.

Минималният дифракционен предел се определя от израза:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2.n}, \text{ където } \lambda \text{ е дължината на електромагнитната вълна във вакуум,}$$

n - показател на пречупване на средата.

Създаде се микроскоп в близкото поле (*NSOM, SNOM*) с помощта на който се преодолява дифракционния предел в оптиката. Това се отнася и за сканиращия сондов микроскоп (*SPM*).

Фотоника

Photonics

Терминът „фотоника” е възникнал по аналогия с термина „електроника” като се подчертава този факт, че фотонът като материален агент на информационните системи изпълнява всички функции, които изпълнява електронът.

Европейската комисия (*EK, EC*) счита, че *Европа* има всички основания за да стане световен лидер във важната комплексна област на хай-тек (*High tech., HT*)-фотониката:

(«*Europe should be photonics champion of the world!*»).

В стратегическата програма на Европейския съюз (*EC, EU*) са избрани

5 приоритетни направления за развитие на фотониката:

- 1) **Информационни и телекомуникационни технологии.**
- 2) Живите системи и здравето.
- 3) Безопасност и отбрана.
- 4) Енергетика, осветление и дисплеи.
- 5) Индустриална фотоника.

Еднофотоника

One photonics

По аналогия с въведеното понятие **едноелектроника** ние **въвеждаме** понятието **еднофотоника (One photonics)**.

Еднофотониката е област от фотониката, занимаваща се с изучаване на устройствата, работата на които е основана на контролирано движение на отделни фотони, даже на един отделен фотон (излъчване, разпространение, детектиране, управление, регистриране поведението на единични фотони и унищожаване на фотони и др.).

Разработени са светодиоди на единични фотони (*SPLED*), двуфотони лазери (*TPL*), еднофотонни лазери (*SPL*), еднофотонни генератори (*SPO*, *SPG*), фотодетектори на единични фотони (*SPPD*) например лавинен фотодиод на единични фотони (*SPAPD*), суперпроводящ детектор на единични фотони (*SSPD*), диоди на единични фотони (*SPAD*), еднофотонен оптичен транзистор (*SPOT*), еднофотонен оптичен транзистор с високо усилване (*HGSPOT*), еднофотонен приемник (*SPR*), квантов прибор с единичен фотон (*SPQD*), модул за броене на единични фотони (*SPCM*), има създадени фотонни компютри с единичен фотон (*SPC*), еднофотонна микроскопия (*SPM*, *EPM*), еднофотонна конфокална микроскопия (*SPCM*), еднофотонна възбуждаща микроскопия (*SPEM*), еднофотонна флуоресцентна микроскопия (*SPFM*), еднофотонна йонизация (*SPI*), плазмонно увеличена еднофотонно излъчване (*PESPE*) и др.

Нанофотоника

Nanophotonics

Нанофотониката е раздел от фотониката, изучаваща физическите процеси, възникващи при взаимодействието на фотоните с обекти с наноразмери.

Нанофотониката е област от фотониката свързана с разработка на архитектура и технология за производство на наноструктурни устройства за генерация, усилване, модулация, предаване и детектиране на електромагнитно излъчване и прибори на такава основа, а също така и изучаване на физическите явления, определящи функционирането на наноструктурните устройства и протичащи при взаимодействието на фотоните с наноразмерните обекти. Нанофотониката е квантова, компютърна, микровълнова, вълноводна, нелинейна, на силициев карбид (*SiC*), силициева (*Si*), *PLZT* (Оловено-лантаниев цирконат-титанат) нанофотоника, нанофотоника на повърхностни плаزمони (*SPNP*), бионанофотоника и др. *Приложение на нанофотониката* във високоефективни оптоелектронни устройства: преобразуватели на дължината на вълната, настройваеми филтри, устройства за съвместяване на поляризацията на лъчите, настройваеми мултиплексори, оптични приемопредаватели и др.

Нанотехнологии

Nanotechnologies, Nanotech

Нанотехнологиите дадоха на оптоелектрониката- лещи (супер, хипер, превишаващи дифракционния предел), призми, влакна, резонатори, модулатори, настройваеми филтри, вълноводи, настройваеми мултиплексори, демултиплексори, превключватели, светодиоди (органични, на квантови точки, квантови проводници и квантови ями), лазери, оптични приемопредаватели, фотоприемници, дисплей, оптични интегрални схеми, фоторезисти, управление на светлинни потоци, преобразуватели на спектъра, преобразуватели на дължината на вълната, устройства за съвместяване на поляризацията на лъчите и др.

Термини от нанотехнологиите, частици, елементи и прибори

Точка, квантова (КТ),

Quantum Dot (QD),

Наноточка (НТ)

NanoDot (ND)

Квантова точка е термин от наноелектрониката и често представлява нанокристал, имащ всички три пространствени измерения. Под термина „точка” се разбира безкрайно малки размери на обекта, съхраняващ наномасшаба и трите измерения. Теоретично квантовата точка е електронна нанометрична система с нулева размерност (0D).

Квантовата точка е нанокристал в който движението на електроните е ограничено в трите пространствени направления. Размерът на областите на ограничение на движението на електроните в тези структури е от няколко *nm* до десетки *nm*.

Приложениена квантовите точки: Квантовите точки намират приложение в лазери (скорост 25 Gbps) и светлоизлъчващи устройства, светодиоди, сензори, транзистори {транзистор на квантови точки (QDT), размерите му са 10 пъти по-малки от транзисторите в компютрите), еднофотонни приемници (SPR), еднофотонни генератори (SPO, SPG), нанотермометри, слънчевите батерии, дисплей, фотодиоди, едноелектронни транзистори (SET), квантови компютри (квантови изчисления чрез кюбит, кубит, qubit) и др. Квантови точки, поместени в микрорезонатор могат да бъдат източник на единични фотони.

Проводник (Жичка, Нишка), квантов

Quantum Wire (QW)

Квантовият нанопроводник е термин от наноелектрониката. Едномерен (1D) полупроводник или т.н. квантов проводник. Това е обект с нишкообразна форма с напречни размери, удовлетворяващи условието за размерно квантоване. Потенциалната енергия на електрона в такъв обект е по-малка от тази извън границите му и за сметка на малките напречни размери (1-10 *nm*) движението на електроните е ограничено в две измерения. Движението по дължината на нишката е свободно, а по време на движение в другите направления се квантова т.е. неговата енергия приема само дискретни (квантовани) стойности.

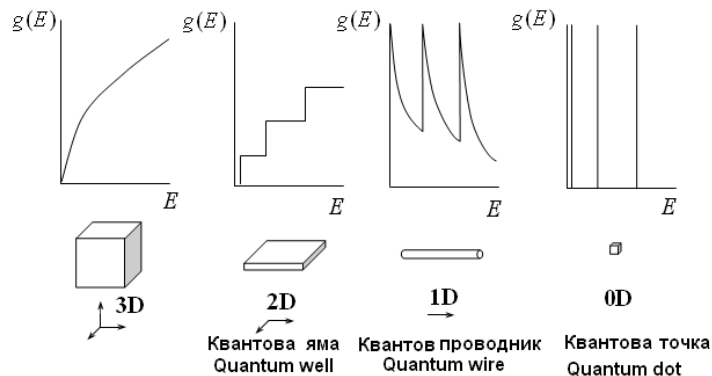
Приложение на квантовите проводници във фотониката, оптоелектрониката и микроелектрониката- за изготвяне на лазери с малък прагов ток, диоди, транзистори, квантови кабели, батерии, слънчеви клетки, могат да заменят в някои приложения въглеродните нанотръби, фотонни вълноводи, прозрачни електроди за гъвкави дисплей, за нови поколения компютри, логически схеми, електронни преобразуватели и актуатори, използват се в композитите поради висок модул на Юнг, в механични конструкции и др.

Яма, квантова (КЯ)

Quantum Well (QW)

Потенциална яма с дискретни енергийни нива. Квантовата яма е плоска полупроводникова хетероструктура (обикновено с дебелина 1-10 *nm*) с тясна забранена зона (например от галиев арсенид, GaAs) и има структура тип „Сандвич, Sandwich”, която е разположена между два слоя полупроводник с широка забранена зона (например алуминиев арсенид, AlAs), по такъв начин, че да се обезпечи пропорционалност на квантовите електронни нива. Потенциалната енергия на електроните в квантовата яма е по-малка в сравнение с тази извън границите и така, че движението на електроните е ограничено в две измерения (2D). Движението на електроните в плоскост, перпендикулярна на плоскостта на квантовата яма се квантува и енергията им може да приема само някои дискретни стойности.

Приложение на квантовите ями за лазерни диоди, хетеролазери, фотодиоди, светодиоди, модулатори за инфрачервения (ИЧ, IR) диапазон, транзистори с висока подвижност на електроните (HEMT), резонансно-тунелни диоди (RTD), резонансно-тунелни транзистори (RTT), двумерен електронен газ (2DEG, TDEG) и полевни транзистори, разработени на него (TEGFET) и др.



Разпределение на плътността на електронните състояния за обекти с различна размерност (0D, 1D, 2D, 3D)
Distribution of electronic density states $g(E)$ for objects of various dimensions (0D, 1D, 2D, 3D)

Свръхрешетка (CP)

SuperLattice (SL)

Особености на луминесцентните свръхрешетки {промяна дължината на излъчваната вълна, екситонен характер на излъчването почти до стайна температура, силно потискане на примесното захващане, фемтосекундна (fs) кинетика и др.} се използват за създаване на ново поколение светлоизлъчващи прибори. Акустичните свойства на свръхрешетките характеризират наличието на селективно отражение на фонони.

Стълба на (Вание)-Щарк

(Wannier)-Stark ladder

Това е електрооптичен ефект в свръхрешетка. При наличие на електрическо поле в свръхрешетката се получават оптични преходи вътре в квантовите ями и между квантовите ями. Минизоните се разцепват и получената система от енергетични нива се нарича стълба на Щарк. Приложение при лазерите с кохерентна електронна подсистема.

Структура с

Tunnel Transparent Barrier Structure

тунелно-прозрачни бариери

(TTBS)

Тези структури представляват системи от квантови ями и свръхрешетки. Основните физически явления в тях са резонансно тунелиране; формиране минизонен спектър в свръхрешетките- периодически системи от квантови ями, разделени с бариери; нелинейни електрически и оптични явления в свръхрешетките. Основни приложения: резонансно-тунелни диоди (RTD) {генератори и смесители в гигагерцовия (GHz) и терагерцовия (THz) диапазон}; мощни генератори и смесители на свръхрешетки; каскадни лазери за средния (MIR) и далечен инфрачервен (FIR) диапазон.

Екситон

Exciton, Eksiton

Екситонът представлява свързано състояние на електрона и дупката, които се притеглят един към друг чрез електростатичните сили на Кулон (Coulomb forces). Това

е електрически неутрална *квазичастица*, която съществува в изолатори, полупроводници и в някои течности.

Приложение на екситоните в информационните и комуникационни технологии- при лазерните диоди, фотодиодите; детектори на йонизиращи лъчения, квантовите проводници, транзистори, екситонов оптоелектронен транзистор (*EXOT*), електрооптични превключватели, в магнитния резонанс, модулатори (*EXVM, EXPOM*) и др. Вместо електронен газ се използва екситонен газ и са създадени оптични модулатори, фазорегулатори, превключватели, оптични транзистори, лазери и др.

Плазмон

Plasmon

Във физиката плазмонът е квазичастица, отговаряща на квантово-плазмените колебания, които представляват свободни колективни колебания на свободен *електронен газ*. Плазмоните играят важна роля в оптичните свойства на металите.

Приложение: Плазмоните се разглеждат като средство за предаване на информация в компютърните чипове, тъй като проводниците за плазмоните могат да бъдат много по-тънки от обикновените проводници и могат да поддържат много по-високи честоти (в режим *100 THz*, докато обикновените проводници имат големи загуби още при *10 GHz*). Те се предлагат като средство за литография и микроскопия с висока резолюция, поради много малките дължини на вълните.

Чрез плазмоните може да се усилва слабо, затихващо близко поле, представляващо особено светлинно излъчване, преминаващо през наноапаратура в метален филм (слой) с размер, който е по-малък от $\lambda/2$ (дифракционният предел), където λ – дължината на светлинната вълна.

Плазмон, повърхностен (ПП)

Surface Plasmon (SP)

Повърхностните плазмони (плазмони, ограничени от повърхността) силно взаимодействат със светлината, довеждащо до образуване на *поляритрони*. Те играят роля в повърхностното усилване на Рамановото разсейване (*RS*) на светлината и в обяснения на аномалиите в дифракцията в метала. Локализираният повърхностен плазмон присъства в малките метални частици (наночастици), такива от злато (*Au*) или сребро (*Ag*).

Плазмоните се прилагат за генерация на излъчване в структури, наречени спазери (*Spasers*), във вертикалните повърхностно излъчващи лазери (*VCSEL*), плазмонни нанолазери, в оптичните влакна, супер и хипер лещи, плазмонните наноантени (*GPN, GPNA*), биосензори и др.

Поляритон, плазмонен (ПП)

Phasmon Polariton (PP)

Поляритон, плазмонен повърхностен Surface Phasmon Polariton (SPP) (ППП)

Плазмонът е квантоване на класическите плазмените генерации, от квазичастици, описвани с уравнение на Максвел (*Maxwell's equation*). Повърхностният плазмонен поляритон (*SPP, Surface Phasmon Polariton*) е активен полупроводников прибор с функции на оптичен вълновод за бързи цифрови комуникации на сигнали и функции на енергиен транслатор. Той представлява колективна промяна на флукуациите на плътността на заряда, ограничени от метално-диелектричен интерфейс. *Приложение* и при свръхрешетки (*Superlattice, SL*), оптичните вълноводи, цифрови комуникации, енергиен транслатор и др.

Спазер SPASER, Surface Plasmon Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Спазер- усилване на базата на повърхностни плазмони при стимулиране емисията на излъчването. Спазерът е плазмонен източник на кохерентно оптично излъчване. Това е квантова генерация на кохерентни повърхностни плазмони в наносистемите или плазмонен наноизточник подобен на лазера. Излъчването на спазера се състои от повърхностни плазмони, които за разлика от фотоните могат да бъдат локализирани в нанометров пространствен обем, което е важно за нанотехнологични приложения и в частност за нелинейно оптическо сондиране в близкото поле (*NF*).

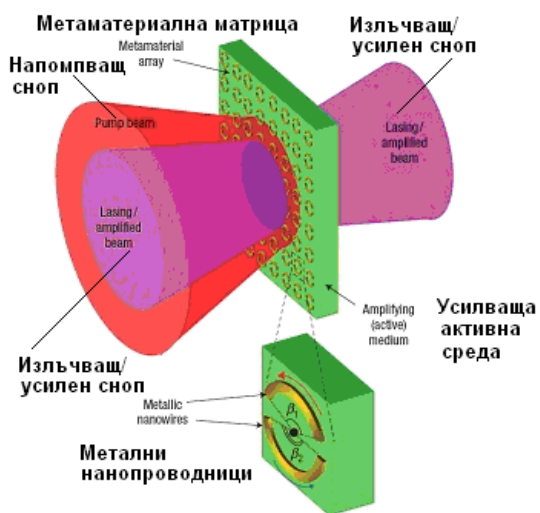
Спазерът в наноплазмониката е аналог на лазера, но не излъчва фотони. В него фотоните са заменени с повърхностни плазмони, а резонаторът е заменен с наначастици, които поддържат плазмонните модове. Спазерът също има активна среда, която се възбужда от вън. Тя може да се възбужда оптически и да не е свързана с работната честота на спазера. Например спазерът може да работи в близкия инфрачервен (*ИЧ, IR*) диапазон, а възбуждането на активната среда може да се извърши чрез ултравиолетов (*УВ, UV*) импулс. Повърхностните плазмони са бозони с възбуждащ вектор със спин *1*, те са електрически неутрални и малко си взаимодействат. Както се вижда изключително много приличат на фотоните.

Спазерът може да се изработи от графен и въглеродни нанотръби.

Първият действащ спазер е създаден през 2009 г. Той представлявал

44 nm сфера със златни (*Au*) или сребърни (*Ag*) наночастици в сферична силициева (*Si*) обвивка, която съдържа органично багрило *Oregon Green 488*. Багрило излъчва на 531 nm (зелен цвят). При достатъчно малки размери на наночастицата (диаметърът на частиците по-малък от дължината на вълната на входящото електромагнитно излъчване) тя може да се разглежда като колебаещ се дипол.

Приложение на спазера: за терагерцови (*THz*) компютри, телекомуникациите, памети, дисплей, в наноразмерната фотография, сондирането, микроскопията и др.



Концепция на плазмоник и метаматериал „Излъчващ спазер”
The concept of the plasmonic & metamaterial “Lasing Spaser”



Спазер на златни наночастици за създаване на повърхностни плазмони (2009 г.)

This spaser from 2009 uses gold nano particles to create its surface plasmons.

Сазер, Звуков лазер

SASER, Sound Amplification Stimulated Emission of Radiation, Sound laser

Сазерът е звуков, фононен или акустичен лазер. Има два вида сазери на оптични резонатори и на електронни каскади. Сазерът е звуков еквивалент на лазера, работещ в терахерцовия (THz) диапазон. Генерира концентриран лъч от звукови вълни с наноразмери. Той има малка дължина на вълната и висока прониквателна способност. Например сазерът от THz диапазон генерира дължина на вълната 1 nm и тя може да прониква дълбоко в твърди тела.

Материали за производство на сазери са AlAs, GaAs. Приложение на сазера в компютърната техника, създаване на свръхбързодействащи процесори вкл. и за създаване на THz компютри; прецизно сканиране; възпроизвеждане на изображение; за получаване на тримерни изображения на наноструктури, в безопасността; изследване на електрически вериги в наномасштаби; за разработка на сазерно оръжие; свръхбързодействащи превключватели за терахерцовия (THz) диапазон и др.

За драйвери (Drivers) на спазерите и сазерите може да се използват СВЧ (UHF) транзистори с висока подвижност на електроните (HEMT).

Нанотръба, въглеродна (карбонова) (BHT)

Carbon NanoTube (CNT)

Нанотръбата представлява цилиндрична повърхност, образувана от правилни шестоъгълници от атоми на въглерода (C). Диаметърът на тръбата е от части нанометъра (nm) до няколко nm, а дължината може да достигне няколко сантиметра (cm).

Диаметърът на нанотръба се определя от израза:

$$d = \sqrt{n^2 + m^2 + n.m.} \cdot \frac{\sqrt{3}.d_0}{\pi}, \text{ където}$$

$d_0 = 0,142 \text{ nm}$ (нанометър) е най-малкото разстояние между атомите на въглерода (C) в графитната плоскост.

Карбоновите нанотръби се прилагат в светодиоди, в оптичните комуникации за здрави оптични влакна. Например светоизлъчващата нанотръба има диаметър 1,4 nm и е 50 пъти по-тънка от човешкия косъм; оптични детектори. Нанотръбите заедно с керамика поглъщат лазерната светлина, без да излизат от строя. Например защита от инфрачервен лазер с мощност 15 kW/cm^2 за 10 s. В дисплеите, в планшетите, смартфоните, компютрите, полева емисия и екраниране, горивни елементи, химически сензори, катализа, механично уякчаване и др.

Заклучение

В публикацията за първи път в България се прави преглед на някои приложения на съвременната наноелектроника в оптичната комуникационна техника.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Агринская, Н. В. Молекулярная электроника. Санкт- Петербург, СПбГПУ, 2004.
- [2] Борисенко, В. Е., Воробьева, А. И. и Е А. Уткина. Наноелектроника. Бинوم. Лаборатория знания, Москва, 2009.
- [3] Велчев, Н. Б. Наноелектроника: Материали, компоненти, приложение. София, Унив. изд. „Св. Климент Охридски”, 2008.
- [4] Игошина, Светлана Евгеньевна. Электро-оптика квантовых ям и квантовых точек с

- примесными центрами. Диссертация. Ученая степень: кандидат физико-математических наук Пенза, 2007.
- [5] Климов, В. В.. Наноплазмоника. Москва, Физматлит, 2010.
- [6] Колев, И. С. и Е. Н. Колева. Модерни лазерни технологии. Справочник. Габрово, изд „Екс-прес”, 2012.
- [7] Кремневая нанооптоэлектроника. Научное сообщение. Докладчик- доктор физико-математических наук Красильник, Захарий Фишелевич (Институт физики микроструктур РАН).
- [8] Мартинес-Дуарт Дж. М., Мартин-Палма Р. Дж., Агулло-Руеда Ф. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектронике. Изд. 2-е, доп. М., Техносфера, 2009.
- [9] Младенов, Г. М. Нанотехнологии и нанoeлектроника. София, Акад. изд. „Проф. М. Дринов”, 2010.
- [10] Никоноров Н. В., Шандаров, С.М. Волноводная фотоника. Санкт Петербург, ИТМО, 2008.
- [11] Смирнов, Е. В. Квантовые объекты нанотехнологии: свойства, применения, перспективы. МГТУ, им. Н. Э. Баумана. Москва, Россия, 1-14.
- [12] Borisenko, V. E. and S. Ossicini. What is What in the Nanoworld. Wiley-VCH, Weinheim, 2012.
- [13] Marius Grundmann. Nano-Optoelectronics: Concepts, Physics and Devices (NanoScience And Technology). Springer Publishing, 2002.