

VIII СПЕЦИЈАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ ВО МИКРОЕЛЕКТРОНИКАТА, ОПТОЕЛЕКТРОНИКАТА И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИТЕ

Компјутерски мемории

Според принципот на меморирање на податоците, компјутерските мемории можат да се поделат на полупроводнички, магнетни и оптички мемории.

Полупроводнички мемории

Полупроводничките мемории се најбрзи, бидејќи се од електронски тип, но се доволно скапи да не можат да се користат за мемории со голем капацитет. Затоа тие се користат во главните мемории, како мемории со отчитување и впишување во текот на работа, RAM, со помал капацитет, каде се наоѓа само делот од системскиот програм кој се процесира и делот од податоците потребни за него. Многу брзите RAM полупроводнички мемории се користат во т.н. "buffer" мемории, кои овозможуваат подобра прилагоденост на главната меморија кон многу брзиот централен процесор со прифаќање на помали блокови од главната меморија и натамошно проследување на овие податоци збор по збор во централниот процесор. Освен тоа, брзите полупроводнички мемории се користат и во контролните мемории (во вид на мемории кои можат само да се читаат ROM) чии програми го контролираат трансферот на делови на главната меморија во централниот процесор, како и трансферот од периферните мемориски единици во главната меморија. Значи, за компјутерите се неопходни различни видови брзи полупроводнички мемории. Овие мемории содржат мемориски ќелии организирани во правоаголна матрична форма во која секоја ќелија има своја адреса: број на врстата и колоната. Секоја ќелија може да чува еден бит бинарна информација, т.е. при "читањето" излезниот напон може да има само две вредности кои одговараат на состојбите "1" или "0". Мемориската матрица ја окружуваат логички кола на чипот со функција на декодирање на бинарната адреса и поврзување на адресираната ќелија со влезниот појачувач за впишување нови податоци во неа, или со излезниот сензорски појачувач за "читање" на податоците во неа.

Вообичаени интегрирани полупроводнички мемории се MOS мемориите, чии главни компоненти се MOS транзисторите. Биполарните мемории се побрзи од MOS мемориите, но тие бараат посложена технологија на изработка и поголема површина, затоа содржат и помалку ќелии во еден чип.

Магнетни мемории

Магнетните мемории се применуваат во перифериските мемориски единици кои имаат значаен капацитет, но се спори.

Како конвенционален магнетен мемориски медиум се користи тенок слој од магнетно меките легури (пермалој и слично) нанесен на подлога во облик на диск, цилиндер, лента или сл. Информацијата во магнетниот мемориски слој се запишува во бинарна форма, каде на состојбите "1" и "0" им одговараат две состојби на реманентната индукција на материјалот со спротивна ориентација.

Преодот од една во друга состојба се остварува со надворешно дејство со користење на магнетна глава за впишување, а отчитувањето со магнетна глава за отчитување.

Конвенционалните магнетни мемориски единици се релативно спори заради механичкиот пристап, а бараат доста скап пристапен механизам за впишување и отчитување, што е економично само кај големи мемории.

Смалувањето на времето на пристап може да се постигне со магнетни меурести мемории. Кај овие материјали формирањето односно разорувањето на магнетните цилиндри се врши со доволно јако локално магнетно поле. Магнетните цилиндри можат да се поместуваат контролирано во тенкиот слој на магнетниот материјал со создавање (со помош на две ортогонални намотки) на вртливо поле \vec{H}_{rot} (со фреквенција 100 kHz - 1 MHz) во рамнината на материјалот. Ова поле може да се запре и да се заротира во спротивен смер, што придонесува за пократко време на пристап во однос на конвенционалните перифериски единици. Отчитувањето на мемориските податоци ("1" - присуство на магнетен цилиндер, "0" - отсуство) се регистрира електронски со промена на отпорноста на магнетно отпорните ленти нанесени на магнетен филм како дел од цилиндричниот мемориски чип.

Како што е кажано, за изработка на магнетни мемории најчесто се користи YIG ($Y_3Fe_2(FeO_4)_3$) и $Gd_3Ga_5O_{12}$ кој има иста структура. Оптимална дебелина на YIG слојот е $\sim 0,1 \mu m$.

Во последно време се користат аморфни магнетно тврди материјали, кај кои се постигнуваат цилиндри со $\sim 10^9$ bita/cm². Еден од главните претставници е $(Gd_{1-x}Co_x)_{1-y}Mo_y$.

Покрај големата густина на запис, магнетните меурести мемории имаат висока точност ($10^{12}:1$ со користење на корекциски кодови) што е неопходно при меморирање финансиски податоци.

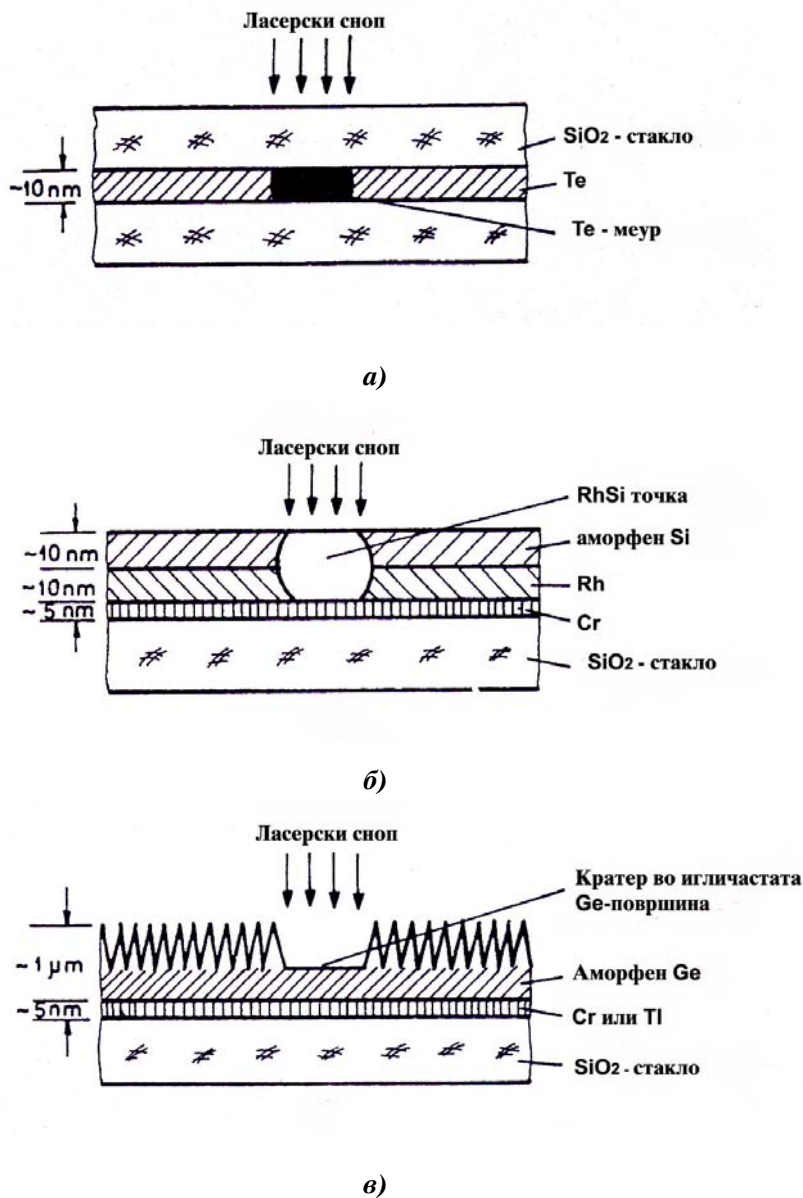
Оптички мемории

Оптичките мемории претставуваат оптички дискови кај кои впишување и отчитување на податоците се врши со помош на ласер. Впишувањето на податоците на оптичката плоча се врши со ласерски сноп со поголема моќност кој импулсно ги впишува податоците, додека читањето се врши со ласерски сноп со помала јачина и е базирано на промената на коефициентот на рефлексција на местата на впишаните податоци.

Постојат повеќе типови плочи за оптичко меморирање. Една од нив се базира на тенок напарен слој телур (Te), со дебелина 10-30 nm, кој се наоѓа помеѓу две стаклени плочи. Кај оваа сендвич структура под дејство на ласерски зрак се создаваат меурчиња кои рефлектираат значително помалку светлина од околната површина.

Се применуваат и оптички мемории на база на двослој на родиум (Rh) и аморфен силициум (Si) нанесен на стакло. Под дејство на ласерскиот зрак доаѓа до топење на двослојот и до формирање на родиум силицид (RhSi). Оваа точка на силицид (со пречник 1 μm) има значително поголем коефициент на рефлексција отколку горниот слој на силициум.

Друга можност е со користење на аморфен германиум (Ge). На подлога од стакло се напарува аморфен германиум. Потоа, површината на Ge се прска со алуминиум (Al) и со реактивно јонско ецовање се нагизува површината непокриена со Al. Како резултат се добива игличаста структура, четка со длабочина $\sim 0,2 \mu\text{m}$ и пречник на иглиците $\sim 10 \text{ nm}$. Кога оваа површина се изложи на дејство на ласерски сноп (со моќност од 10 mW), иглиците се топат и се создава кратер со пречник $\sim 2,5 \mu\text{m}$. Коефициентот на рефлексивност на генерираниот кратер е значително поголем отколку кај игличестата површина.



Слика 14. 1. Шемајски приказ на оптички мемории

За впишување на податоци обично се користат He-Ne гасни ласери кои емитираат црвена светлина ($\lambda=663 \text{ nm}$). Со оптичките мемории често се врши меморирање на податоци (дигитални) пренесени со телекомуникациони линии, така што со истовремена работа на 9 ласерски снопови може да се обработат $5 \times 10^8 \text{ bits/s}$, што најчесто е потребно за впишување на сателитски податоци.

Недостаток на прикажаните мемории е што тие се од ROM тип. Овој недостаток може да се надмине со употреба на мемории со активни слоеви на сребро и среброхлорид

(AgCl). За впишување податоци во вакви мемории е потребна релативно голема енергија, но тие може да се бришат со изложување на дневна светлина (~ 2 min), после што запишаните податоци избледуваат.

Голем напредок е примената на динамички тродимензионални холографски мемории. Ова е можно да се оствари со кристалите на LiNbO_3 , GaAs, CdS и други кои имаат особина да под дејство на просторно нехомогено светлосно поле им се менува индексот на прекршување, како резултат на миграцијата на електрицитетот и задржување во темните области. Ваква ситуација е присутна кај оптичката холографија, каде холографскиот запис е интерферентна слика на два ласерски зрака: референтниот и предметниот. Ваквите т.н. фоторефрактивни кристали овозможуваат тродимензионален холографски запис со големи густини на информации до 10^{12} bita/cm³. При тоа, овој холографски запис може во мрак да остане стабилен доста долго (и преку 10 години). Отчитувањето на меморискиот запис се врши со вообичаена постапка кај холографијата, со осветлување на кристалот со ласерски зрак со спротивен смер од референтниот. Бришење на мемориската содржина се врши со униформно осветлување на кристалот. Фоторефрактивните кристали можат да се користат за динамичка холографија во "реално време" во која впишувањето и отчитувањето на информациите се случува практично непрекинато и истовремено, што овозможува паралелно процесирање на информациите.

Оптоелектронски направи

Општо: Оптичките комуникации ја заменуваат микробрановата техника и кабловската техника во пренесувањето на телекомуникациските сигнали. Најважните причини за ова се: а) со примената на оптичките влакна се намалуваат загубите, што овозможува зголемување на должината на пренос без регенерација; б) последните години направен е напредок во развојот на сигурни и економични извори и детектори на зрачење; в) оптичките влакна овозможуваат зголемување на широчината на пропусниот опсег (~ 1 GHz), како последица на високата носечка фреквенција (10^{14} Hz); г) со примена на оптички влакна, значително се намалуваат димензиите и тежината на кабелот, а оневозможено е преслушување.

Извори на зрачење

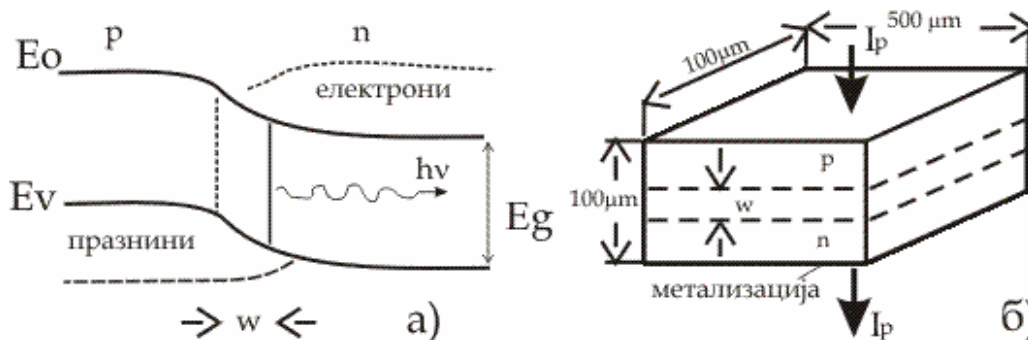
Изворите на зрачење се базираат на радијативна деекситација на електроните од возбудените состојби во основните состојби. Зависно од тоа дали ова зрачење е кохерентно или не постојат два типа на извори LED-диоды и ласери.

Директно поларизираните LED-диоды ја користат спонтаната рекомбинација на инектираните носители (електрони и празнини во околината на p-n спојот), следени со емисија на кохерентно зрачење. Зависно од енергетскиот процеп (E_g) на полупроводничкиот материјал, зрачењето може да биде во видливата или инфрацрвената област на електромагнетниот спектар. Радијативната рекомбинација е полесна кај материјалите со директен енергетски процеп. Кај материјалите со индиректен енергетски процеп (Si, Ge), рекомбинацијата се врши со учество на фононите (заради законот за одржување на импулсот), така што еден дел од енергијата се троши на загревање на кристалната решетка.

Излезната моќност на LED-диодите е релативно мала $\sim 1 \mu\text{W}$, а спектралната ширина релативно голема ($\sim 10 \text{ nm}$). Заради ова тие повеќе се користат за изработка на дисплеи, а помалку како извори на зрачење во оптичките комуникации.

Полупроводничките ласери заради поголемата излезна моќност ($\sim 10 \text{ mW}$) и малата спектрална ширина ($\sim 10^{-2}-10^{-1} \text{ nm}$) се погодни извори за оптичките комуникации. Нивната работа е заснована на квантомехничкиот принцип, при интеракцијата на фотон и електрон да постои еднаква веројатност: 1) да фотонот биде апсорбиран и електронот побуден на повисок енергетски ниво или 2) ако електронот е побуден, да биде стимулирана емисија на фотон. Овој втор фотон има исто λ , фаза, поларизација и правец на простирање како првиот. Така првобитниот фотон се појачува.

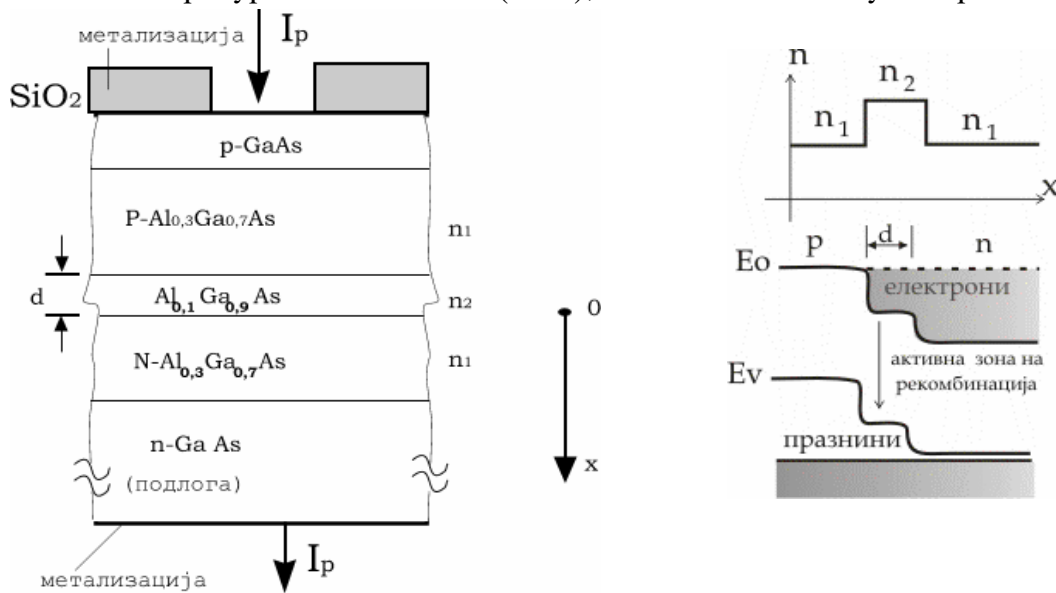
Дали првобитниот фотон ќе биде апсорбиран или појачан во полупроводникот, значи зависи од тоа дали повеќето електрони се во побудени состојби или во нискоенергетски. Првата ситуација е позната како популациона инверзија и се постигнува со специјални начини на подигање електроните во возбудени состојби, пред започнување на ласерскиот ефект. Најчесто со инектирање на електрони и празнини во околината на p-n спојот на директно поларизирана ласерска диода, така што тоа би бил инекцион полупроводнички ласер. Големiot број на инектирани носители во околината на p-n спојот формира област со ширина W , со голем број на електрони во проводната зона, заедно со голем број на празнини во валентната зона што одговара на популациона инверзија. Некои од инектираните електрони ќе почнат спонтано да се рекомбинираат со инектираните празнини емитуирајќи фотони кои ја стимулираат кохерентната емисија на други фотони, и.т.н. Овие фотони доаѓајќи до огледалната површина на ласерската диода се рефлектираат назад спрема p-n спојот, каде во областа на популациона инверзија го стимулираат кохерентното зрачење на нови фотони и достигнуваат до спротивниот ѕид на ласерската диода.



Слика 14. 2. Шемајски приказ а) на енергетските зони и б) структурата на инекциониот ласер

Некои повторно се рефлектираат и така стимулираат се појакано кохерентно зрачење. Загубите притоа, се од зрачењето на кохерентна светлина во околината или со апсорпција на фотоните во полупроводникот (далеку од p-n спојот), каде нема популациона инверзија. Ако овие загуби се помали од светлосното појачување со стимулирана емисија, бројот на фотоните и интензитетот на светлината брзо ќе се зголемува, додека јаката директна струја на ласерската диода непрекинато ќе ја обновува популационата инверзија. Интензитетот на светлината ќе се стабилизира на вредноста при која светлосните загуби (кои растат со интензитетот) ќе се урамнотежат со светлосното појачување. Структурата на основен полупроводнички ласер дадена е на слика 14. 2. Како и кај LED диодата и овде се потребни полупроводнички материјали со директен енергетски процес.

Главна тешкотија поврзана со структурата на основниот инекционен полупроводнички ласер е големата густина на струјата на прагот потребна за популациона инверзија: $J_p \sim 10^5 \text{ A/cm}^2$ на 300 K, односно $\sim 10^3 \text{ A/cm}^2$ на 77 K. Затоа тој е корисен на температура на течен азот (77 K), па и тогаш во импулсен режим.



Слика 14. 3. Шематски приказ на а) структурата на попречниот пресек и б) енергетските зони и индексот на прекршување на инекциониот ласер на основа $Al_{1-x}Ga_xAs$ хетеросоеви

Значаен напредок е постигнат со полупроводнички инекционен ласер со хетеросоеви, што е овозможено со новите технологии на изработка на тенки слоеви. Пример за ваква структура е даден на слика 14. 3.

Со варирање на составот на легурата (x) се менува благо индексот на прекршување (n) и енергетскиот процеп (E_g), иако монокристалната структура практично останува сочувана заради еднаквите параметри на кристалните решетки на GaAs и $Al_{1-x}Ga_xAs$. При директната поларизација на овие повеќехетероспојни ласерски структури, доаѓа до локализација на инектираните носители во околината на активната област ($d \sim 0,1-0,5 \mu\text{m}$), каде доаѓа до рекомбинација на носителите и емисија на фотони. Заради промената на индексот на прекршување ($n = n_2 - n_1 \approx 0,2$) истовремено заради тоталната рефлексија се врши локализација на емитираните фотони во оваа област, така што тука истовремено постои висока концентрација на електрони, празнини и фотони. Затоа овде ласерскиот ефект настанува при значително помала густина на струјата на прагот ($J_p \sim 500 \text{ A/cm}^2$ на 300 K) што овозможува работа во континуиран режим на собна температура. Понатамошно намалување на струјата на прагот I_p се постигнува со користење тесен ($\sim 10 \mu\text{m}$) контакт всечен во оксидот, кој ги концентрира инектираните носители пред себе. На овој начин може да се постигне струја на праг $I_p \sim 10 \text{ mA}$, во континуален режим на работа со $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$, на собна температура. Освен тоа вакви полупроводнички ласери имаат кохерентност на зрачењето $\sim 10^{-1} \text{ nm}$ (што е ~ 10 пати подобро од основните полупроводнички ласери, а на ниво на гасните ласери). Како последица на дискретната густина на состојби на електронскиот и празнинскиот гас во овие структури. Слични предности имаат и ласерите на основа на суперрешетки.

Со примена на современите епитаксијални технологии се постигнува висок степен на сигурност на работата на полупроводничките ласери: време на живот 10^5 часа (12 години), со промена на карактеристиките за помалку од 10%.

Брановата должина λ на зрачењето на светлосните извори, како на ласерите така и на LED диодите е одредена со широчината на енергетскиот процеп E_g на полупроводникот:

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} = \frac{1,24}{E_g(eV)} (\mu m) \quad (14.1.)$$

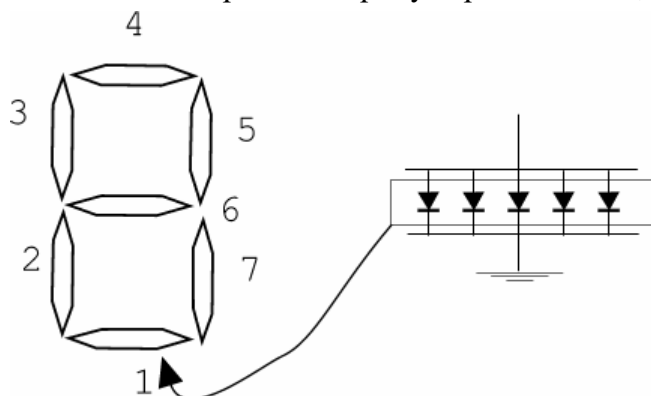
каде h е Планковата константа, а c е брзината на светлината.

За изработка на LED диоди и ласери во видливата црвена област се користат $Al_{1-x}Ga_xAs$ и $GaAs_xP_{1-x}$ легури со $x \sim 0,4$ (кои имаат директен енергетски процеп $E_g \sim 2$ eV) и суперрешетки $GaAs-Al_{1-x}Ga_xAs$. Во сината област се користи $ZnSe$, а во зелената област CdS . За LED диоди во видливата светлина се користи GaP допиран со CdO или ZnO (што дава црвена светлина со висока ефикасност) или со S или N (што дава зелена светлина). За LED диоди од сина до црвена боја може да се користи SiC допиран со Al , V , или Be .

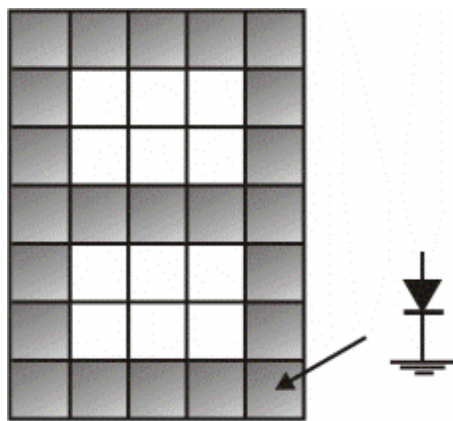
За примена во II генерација на оптичките комуникации развиени се ласери во областа $\lambda = 1,3-1,6$ μm . За ова се користат полупроводници со директен енергетски процеп $E_g = 0,95-0,77$ eV. Вакви полупроводнички соединенија нема, но можат да се користат полупроводнички легури направени од две соединенија од кои едното има помал, а другото поголем енергетски процеп. Во пракса најмногу се користени легурите $(InAs)_{1-x}(GaP)_x$ и $In_{1-x}Ga_xAs$ на подлога од InP , со оглед на усогласените кристалографски својства и коефициентите на термичко ширење на овие материјали.

LED и течнокристални дисплеи

Приказ на два типа на LED дисплеи: на слика 14. 4. е прикажан седумсегметен нумерички, а на слика 14. 5. 7×5 матричен алфанумерички LED дисплеј.



Слика 14. 4. Седумсегментен LED дисплеј

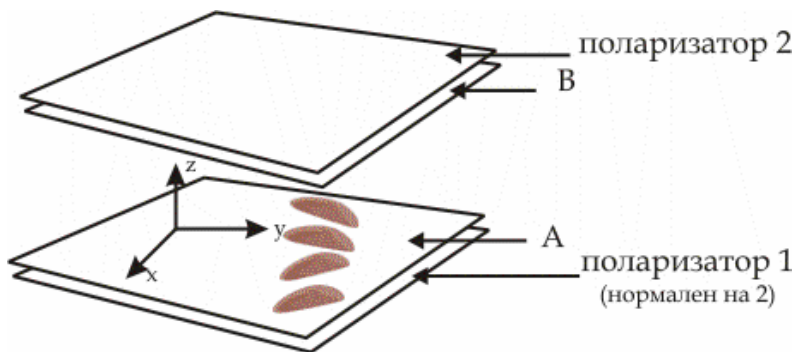


Слика 14. 5. матричен LED дисплеј

Кај седумсегментниот LED дисплеј, секој сегмент е составен од неколку паралелно поврзани LED диоди, така што откажувањето на една, не го исфрла од работа дисплејот. Секој сегмент свети кога се пропушта струја низ него. За насочување на струите се користи дигитален контролен систем. На пример, за бројот 3 логичкото коло ги напојува сегментите 1, 4, 5, 6 и 7.

Кај матричниот дисплеј логичкото коло пропушта струја само низ оние LED диоди, кои се потребни за покажување на специфичниот број или буква. Предностите на LED диодите во однос на другите видови сигнални лампи се нивната висока ефикасност, долготрајност, механичка отпорност, способност на работа со нисконапонски напојувања, компатибилност со транзисторските кола.

Еден тип од втората класа дисплеи-течнокристалните е прикажан на слика 14. 6. Течен кристал со дебелина $\sim 10 \mu\text{m}$ се наоѓа помеѓу две стаклени плочи A и B, херметички затворен. Стаклените плочи A и B се микроскопски изгравирани во правците x и y респективно. Оваа гравура ги насочува течнокристалните молекули, така што како резултат од плочата A до B ќе се добијат молекули свртени за 90° . Ако поларизираната светлина од поларизаторот 1 паѓа на плочата A, таа понатаму ќе ја сврти својата поларизација и ќе излезе низ B со поларизација свртена за 90° . Ако зад ќелијата постои светла рефлективна површина, светлоста се рефлектира назад, проаѓа низ ќелијата и излегува назад со иста поларизација. Така ќелијата ќе покажува светла површина. Двата нормални поларизатори се користат за добивање поларизирана светлина од било кој извор.



Слика 14. 6. Шемајски приказ на ќелија течнокристален дисплеј

На површината на стаклените плочи A и B се направени електроди направени од транспарентен индиум-олово оксид и ецовани до сакан облик (пр. седумсегментна

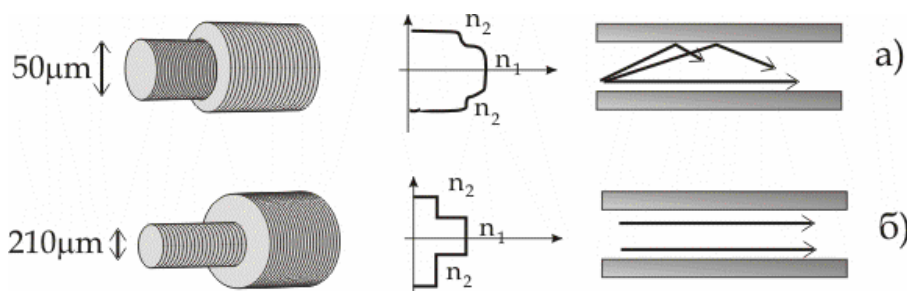
форма). Наизменичен напон (~5-10 V) применет помеѓу електродите формира електрично поле во z-правец, така што резултантната торзиона сила ги свртува молекулите во тој правец, рушејќи ја нивната поларизациона уреденост. Упадната поларизирана светлина на тие места ќе се расејува, ќе ги губи поларизационите својства и нема да се рефлектира назад. Површините покриени со електродите под напон на тој начин ќе станат темни.

Како торзионата сила на молекулите е ефект на полето (а не на електричната струја), и не се потребни внатрешни извори на светлост, течнокристалните дисплеи користат многу мала батериска моќност. Ова е значителна предност во однос на LED дисплеите.

Оптички влакна

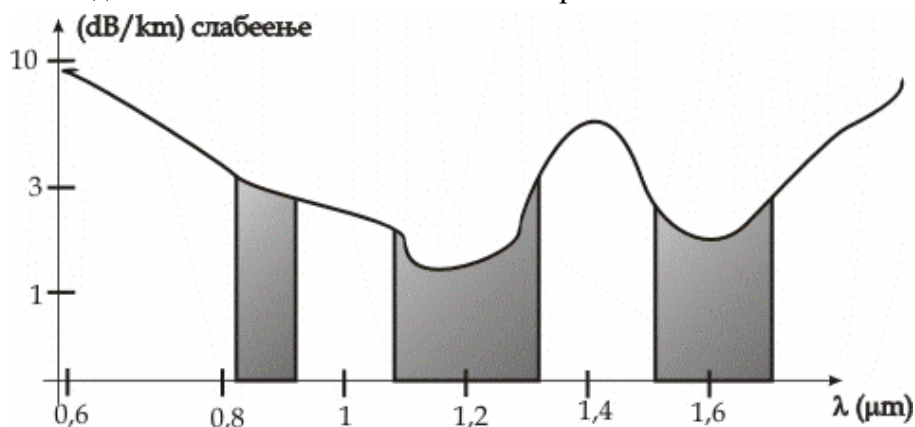
Оптичките влакна претставуваат еден вид диелектричен брановод кој се состои од јадро со поголем индекс на прекршување и обвика со помал индекс на прекршување. Како резултат на ова доаѓа до тотална рефлексија на ѕидовите од влакното што овозможува пренос на оптичките сигнали, долж јадрото на големи растојанија.

На слика 14. 7. прикажани се шематски два типа на оптички влакна: мултимодно и мономодно.



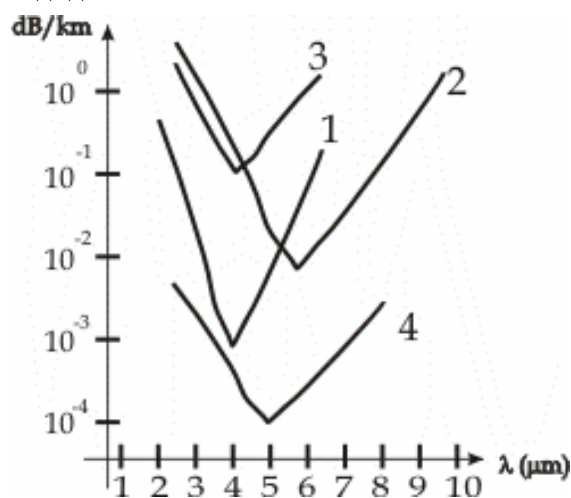
Слика 14. 7. Шематски приказ на а) мултимодно и б) мономодно оптичко влакно

Оптичките влакна се изработуваат од кварцно стакло SiO_2 со што помала содржина на нечистотии, бидејќи тие влијаат на слабеењето на светлината. Слабеењето е функција на брановата должина на светлината. Ова е прикажано на слика 14. 8.



Слика 14. 8. Зависност на слабеењето од брановата должина за кварцно стакло

Максимумот на слабеењето при $\sim 1,4 \mu\text{m}$ е последица од присуството на ОН групата во кварцното стакло, што со подобрена технологија може сосема да се намали. Големото слабеење за $\lambda < 0,8 \mu\text{m}$ е резултат на апсорпцијата и расејувањето на светлината на електроните и не може да се избегне. Исто така за $\lambda > 1,8 \mu\text{m}$ се појавува засилена фононска апсорпција на светлина што доведува до зголемено слабеење. Ако се земат во предвид сите три ефекти за секој материјал може да се најде карактеристична бранова должина за која загубите се минимални. Втората генерација оптички комуникации работат на $\sim 1,3 \mu\text{m}$ или $1,5 \mu\text{m}$ бранова должина при која слабеењето во кварцното стакло е минимално. Во комерцијална примена дигиталните протоци на податоци се 140 Mbit/s, со должина на регенерација 50 km, а лабораториски и до 2 Gbit/s. Бидејќи слабеењето кај кварцното стакло не може да се намали под 0,2 dB/km, за третата генерација оптички комуникации се вршат истражувања на нови материјали со слабеење до 10^{-2} dB/km, при бранови должини околу $10,6 \mu\text{m}$ на кои зрачи моќниот ($\sim 100 \text{ W}$), CO_2 ласер. Пресметаните спектри на слабеење за неколку перспективни материјали дадени се на слика 14. 8.



Слика 14. 8. Пресметани спектри на слабеење

Теоретски најмали се загубите во јонските кристали на KCl, ($\sim 10^{-4}$ dB/km, при $\lambda=4,6 \mu\text{m}$), а потоа за халогените стакла ZnF_4 ($\sim 10^{-3}$ dB/km). Меѓутоа, во практичната реализација сеуште загубите во досега применуваните оптички влакна се поголеми (многу) од загубите во досега применуваните оптички влакна. Како главни кандидати за оптичките влакна од трета генерација се сметаат халогените стакла ZnF_4 , бидејќи со прочистување на флуоридните суровини и изработка во многу чисти услови наскоро ќе можат да се добијат влакна без примеси или микрокристали.

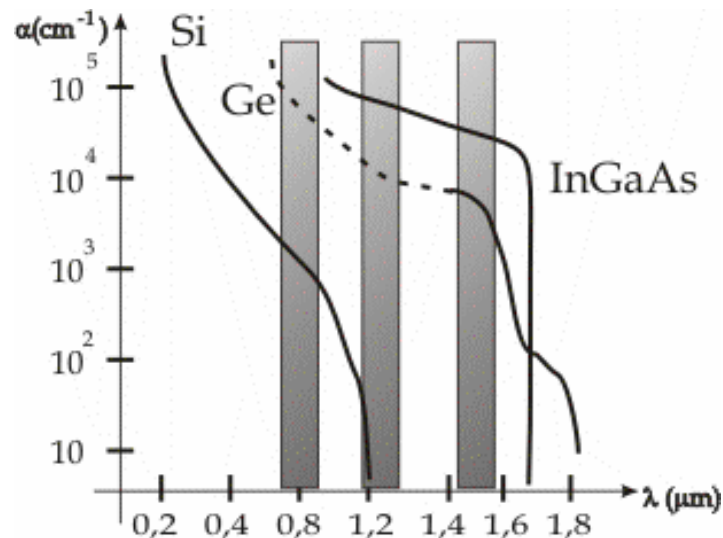
Детектори на зрачење

За детекција со бранова должина λ , се користи ефектот на апсорпција на фотоните со енергија $h\nu=hc/\lambda \geq E_g$ (E_g енергетскиот процеп на материјалот на фотодетекторот). Оваа апсорпција е следена со генерација на парови електрон-празнина, кои се разделуваат со доведено електрично поле и се детектира електричен сигнал на излезот на фотодетекторот. Со оглед дека носителите можат да се генерираат и со топлинска енергија, термалната генерација мора да се сведе на што помала мерка за да се издвои корисниот сигнал. При мали енергетски процепи на фотодетекторот (што е неопходно кога λ е поголемо), неопходно е да се намали работната температура T на

фотодетекторот, бидејќи термалната генерација е $n_i \sim e^{-E_g/2kT}$. За фотодетекторите во оптичките комуникации од I и II генерација (до $\lambda \sim 1,6 \mu\text{m}$), доволна е и собната температура (300 K) додека за инфрацрвените детектори ($\lambda \sim 3\text{-}4 \mu\text{m}$), потребна е работна температура на течен азот (77 K).

Освен ниското ниво на шум, фотодетекторите треба да имаат што поголем коефициент на апсорпција во опсег на брановата должина на сигналот, како и доволна брзина.

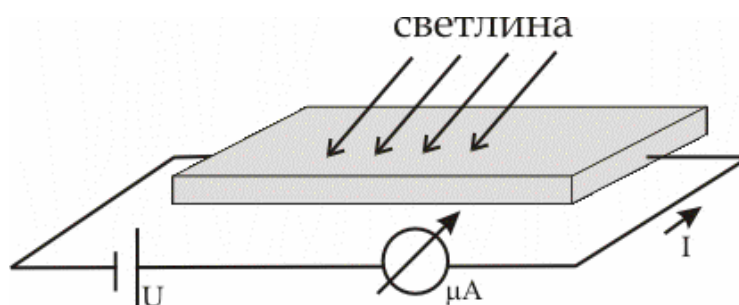
Зависноста на коефициентот на апсорпција од брановата должина даден е на слика 14. 9.



Слика 14. 9. Промена на коефициентот на апсорпција за неколку полупроводнички материјали

Од сликата може да се види дека α станува занемарливо мало за $\lambda > \lambda_{\text{max}} = hc/E_g$, додека во кратkobрановото подрачје α станува многу голема, што воочува дека практично сите фотони се апсорбираат во близина на површината.

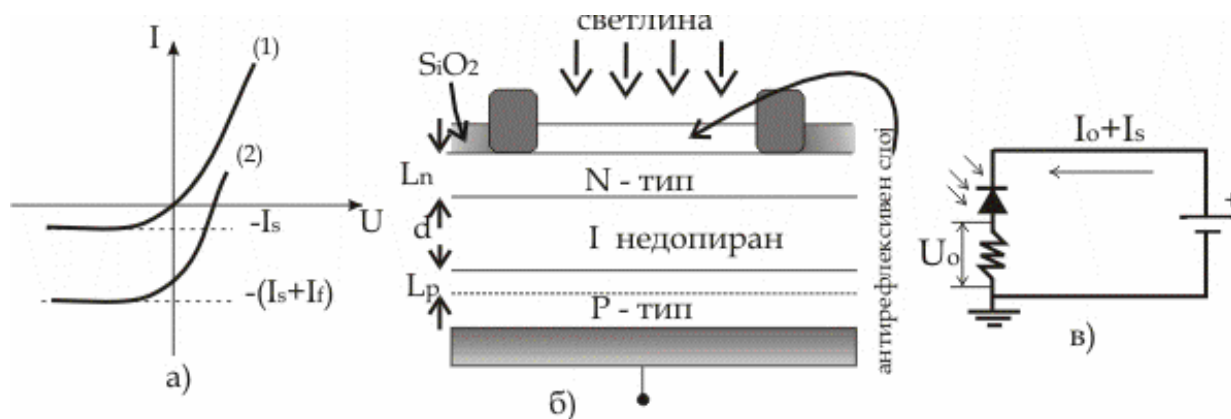
Како фотодетектор во принцип може да се користи сопствен полупроводнички материјал, приклучен во коло со батерија и микроамперметар (слика 14. 10.)



Слика 14. 10. Шематски приказ на фотодетектор

Надворешното поле ги раздвојува генерираните парови електрон-празнина и струјата е пропорционална на интензитетот на светлината. Овие детектори се едноставни, но се бавни и не се користат во оптичките комуникации. Тие се користат како инфрацрвени детектори во термовизијата, (во медицината и индустријата).

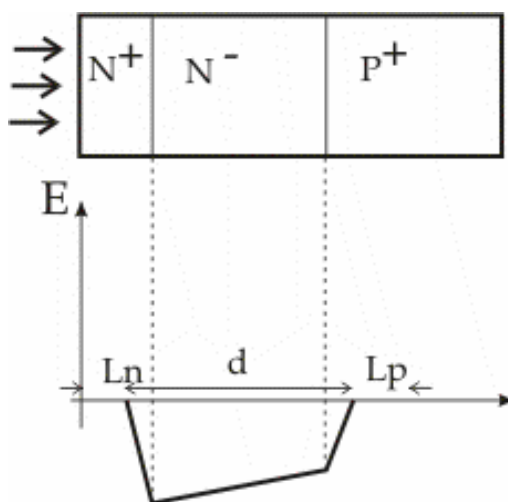
Друг вид на детектори, т.н. фотонски детектори кои се користат и во оптичките комуникации и во инфрацрвената техника се PIN диодите и лавинските диоди. Принципот на нивната работа е сличен. PIN диодата може да се користи како фотодетектор при инверзна поларизација, помала од пробојниот напон. Детекционата способност се манифестира со остриот пораст на инверзната струја од I_s во мрак до I_s+I_f при осветлување. Нејзината структура е дадена на слика 14. 11.



Слика 14. 11. Шемајски ѝриказ на PIN фoјодииода

PIN диодата има тесна N област, под која се наоѓа широка осиромашена I област на недопиран (сопствен) полупроводник, каде се случуваат повеќето апсорпциони генерациони процеси. Заради силното поле во осиромашената I област, генерираните парови веднаш се раздвојуваат (без многу можност за рекомбинација), формирајќи струја I_f . Паровите генерирани во осиромашената област, но на далечина L_p и L_n имаат исто така можност да дојдат во осиромашената област и тие исто така допринесуваат во I_f . Додека подалеку генерираните парови заради рекомбинацијата не допринесуваат кон I_f .

Структурата на електричното поле на PIN диодата која во реален случај нема сопствена I област, туку има структура $P^+-N^-N^+$, дадена е на слика 14. 12.



Слика 14. 12. Сѝрукѝура на елекѝрично ѝоле PIN диода

Времето на одзив на PIN фотодетекторот е ограничено со времето на премин на електроните низ I областа што е многу кратко заради јакото електрично поле во неа. Основното електрично коло на PIN фотодиодата е прикажано на слика 14. 12. б).

Отпорноста R треба да биде што помала. Затоа што паразитната капацитивност на PIN диодата е околу 10 pF , за време на одзив $\tau \sim 1\text{ ns}$ неопходно е оптоварување $R \sim 100\ \Omega$. Како е струјата микроамперска излезниот напон понатаму се засилува ($U_o = R I_f \sim 1\text{ mV}$) пред доведување на излез од системот. PN или PIN диодите можат да работат и како фотодетектори со вградено засилување. Фотострујата I_f може да се засили со нагодување на инверзниот напон на вредност блиска до лавинскиот пробив, и тогаш I_f се множи со фактор $M > 1$. Меѓутоа, струјата веќе не е линеарно зависна со интензитетот на светлината.

За оптичките комуникации од II генерација ($\lambda \sim 1,3\ \mu\text{m}$) се користат фотодиоди на база на Ge и $(\text{InAs})_{1-x}(\text{GaP})_x$, односно $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x \sim 0,6$). Оваа легура е кандидат и за детектори од III генерација со $\lambda > 5\ \mu\text{m}$, вклучувајќи и $\lambda \sim 10,6\ \mu\text{m}$.

За изработка на инфрацрвени детектори се користат и фотопроводни и фотонапонски детектори, кои имаат способност на детекција за $\lambda \sim 8-14$, исклучиво втора легура ($x \sim 0,2$).

Денес инфрацрвената техника се занимава со усовршување на термовизиските уреди, инфрауредите за водење и набљудување и др. Инфрацрвените детектори кај овие уреди се ладат на температура на течен азот (77 K) заради намалување на шумовите.

Интегрирани кола - перспективи

Интегрираните кола и елементи изработени во силициум се ограничени со неговите физички особини, така што горните гранични фреквенции се движат до 10 GHz , а густините на пакување до 10^7 гејта/ cm^2 . Затоа се прават напори, за подобрување на овие особини, како и за изнаоѓање на принципиелно нови примени.

Интегрирани кола од GaAs овозможуваат скоро за ред на големина повисоки гранични фреквенции ($\sim 60\text{ GHz}$), што е неопходно во ултрабрзите кола и микробрановата техника.

Ова е постигнато на база на предностите на GaAs над Si, кои се наведени порано (како на пример, поголема електронска подвижност, повисоки работни температури, поголем енергетски процеп). Заради ова GaAs технологијата во последните години забрзано се развива. Меѓутоа, присутни се и низа тешкотии во нејзината примена: сложените биполарни структури тешко се изведуваат со добра репродуктивност на параметрите, празнинската подвижност е мала, што е неповолно за биполарните структури. Сепак во GaAs технологијата можат релативно едноставно да се изработуваат кола на база на униполарни FET транзистори. Како гејт овде се користи метал-полупроводничка диода, така што овие транзистори се викаат MESFET.

Заради можноста за работа на $f < 60\text{ GHz}$, GaAs колата се користат во микробрановата техника како засилувачки степен од мала моќност. Освен тоа, вака високи фреквенции и пикосекундни прекинувачки особини комбинирани со мала дисипација ($\sim 1\text{ mW/гејт}$) овозможуваат доминантна примена на GaAs колата за ултрабрзи аналогни и дигитални

функции, и покрај понискиот степен на интеграција (LSI) од силициумските кола (VLSI). Затоа GaAs интегрираните кола претставуваат основа на новата генерација суперкомпјутери.

Интегрираните оптоелектронски кола чија изработка е овозможена со интеграција на GaAs колата со $Al_{1-x}Ga_xAs/GaAs$ хетероструктурните ласери, даваат голема компактност, сигурност и брзина на протокот на информациите, како и намалување на шумот и посебно цената. Освен тоа овозможена е реализација на нови оптички функционални направи со нагодливост на нивните оптички својства.

Шематски приказ на една оптичка комуникациона линија даден е на слика 14. 13.



Слика 14. 13. Оптичка комуникациона линија

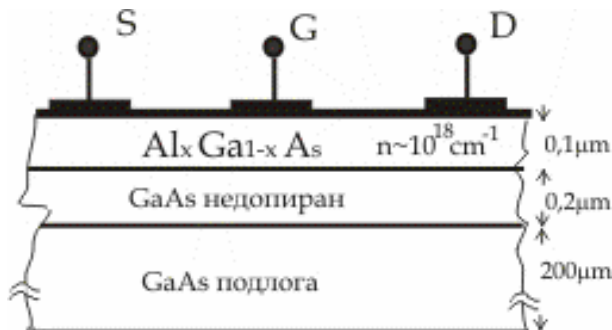
Изработката на една подлога на комбинационите направи како што се: ласерска диода-транзистор, фотодиода-FET, ласерска диода-модулар, ласерска диода-фотодиода, ласерска диода-оптичко влакно итн, овозможена е со координација на параметрите на материјалите, структурата на напавите и процесите на изработка.

Една од најважните структури е повратната спрега со распределени параметри (DFB), која се добива со присуство на оптичка решетка со ласерска диода или оптичкото влакно. Решетката формира периодично изгравирани брановод, кој предизвикува спрегање на брановите кои одат напред со брановите кои се враќаат, со што се добива оптичка повратна спрега, без резонаторски огледала. DFB диодите со внатрешен резонаторски фазен модулар овозможуваат и нагудување на брановата должина на ласерот како и селекција на ласерскиот лонгитудинален мод. Освен тоа спектралната ширина на зрачење DFB ласерските може да се намали со зголемување на должината на резонаторот кој се состои од надворешно оптичко влакно и надворешно резонаторско огледало. Интегрирани со фотодетектор ласерските диоди можат да се користат како регенератори на долгите оптички линии. Од друга страна нивната интеграција со транзистори овозможува мултиплексирање на некои влезни канали во ист трансмисионен ласер, како и нивно демултиплексирање на другиот крај. До сега вакви дискретни системи беа ограничени со преголемите паразитни капацитивности и загубите предизвикани со конекторите меѓу компонентите кои се значително поголеми од елементите. Со натамошно усовршување на технологиите за добивање чисти материјали и структури се очекува брза комерцијална примена.

Хетероспојните и балистичните кола овозможуваат зголемување на горната гранична фреквенција до 100 GHz односно 150~15000 GHz.

За хетероспоевите и нивните особини беше кажано понапред. Особено се интересни хетероспоевите со еден материјал со помал енергетски процеп, при што овој процеп се наоѓа во поголемиот енергетски процеп на вториот материјал (пр. GaAs – $Al_xGa_{1-x}As$ со $\epsilon_{g1}=1.43eV$ и $1.43eV < \epsilon_{g2} < 2.13eV$, $0 < x < 1$).

Ако е $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ легурата од n-тип, а GaAs недопиран, доаѓа до премин на електрони во GaAs. На тој начин се постигнува раздвојување на електроните од јонизираните донорски центри со што се елиминира расејувањето на електроните на примесите. Заради ова, при пониски температури (кога е редуциран и фотонскиот механизам на расејување) подвижноста на електроните во правец паралелен со површината на хетероспојот во GaAs значително се зголемува. Овој ефект се користи за изработка на ултрабрзи JFET на база на $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ - GaAs хетероспојеви.



Слика 14. 14. Шемајски приказ на хетероспоен JFET

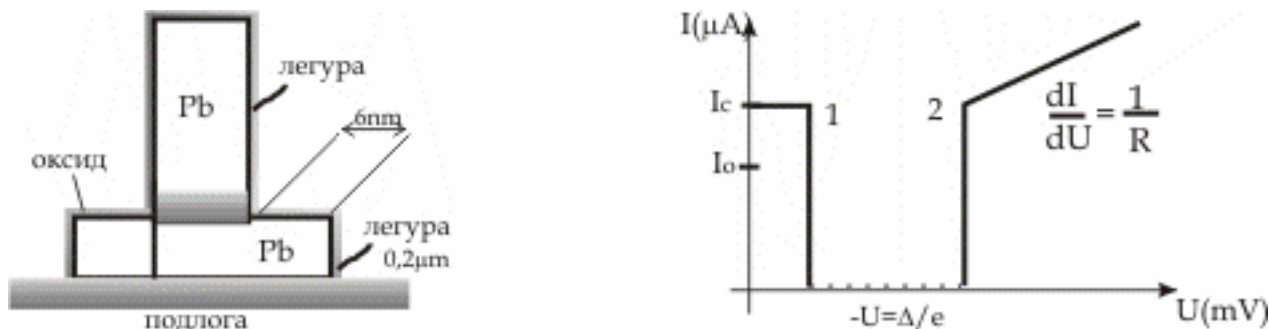
Освен голема брзина овие транзистори имаат и голема излезна отпорност и затоа големо појачување. За комерцијална примена на интегрирани кола на база на хетероспојеви сеуште постојат технолошки проблеми (еден е добивање добри омски контакти со AlGaAs легурата).

Балистичките транзистори овозможуваат движење на електроните во активната област со максимална дрифтowska брзина, што не беше случај со досега опишаните каде електроните се движат со средна дрифтowska брзина $\Delta \bar{v}_{ds}$. Оваа средна дрифт брзина се движи за Si $\sim 0.8 \times 10^7$ cm/s, за GaAs $\sim 2 \times 10^7$ cm/s; додека максималната е неколку пати поголема.

За да се постигне максимална брзина во активната област (базата и преодната базно-колекторска област, или каналот) потребно е да се смали расејувањето на јонизираните примеси и фононите на кристалната решетка. Ова се постигнува со смалување на ширината на активната област, така да електроните можат да ја прелетаат во текот на времето на средниот слободен пат τ . Ова е овозможено со ред на новите технологии за изработка на танки слоеви одред на големина од неколку nm (потребно е $d < \Delta v_{dsmax} \times \tau \sim 0.8$ nm). Истотака, при конструкциите на балистички транзистори може да се постигне емитирање на “жешки електрони” од емитерот така што тие практично низ целата база се движат со максимална дрифтowska брзина на заситување. Така теоретски би можеле да се добијат гранични фреквенции до 15000 GHz, така што веројатно балистичките транзистори ќе бидат основа на наредната генерација суперкомпјутери.

Колата на база на Цозефсонови споеви имаат кратки прекинувачки времиња ~ 10 ps и многу мала дисипација $\sim 1 \mu\text{W/gejt}$. Изработката на овие направи е базирана на технологијата на тенки слоеви која лесно може да се примени во дигитални интегрирани кола од овој тип.

На сликата 14. 15. е прикажан попречниот пресек на Џозефсонов спој од две суперпроводни електроди на база на олово, раздвоени со тенок оксиден слој. Овој слој претставува тунелска бариера за суперпроводните парови при преминот од една во друга суперпроводна електрода.



Слика 14. 15. Шемајски приказ на Џозефсонов спој и U-I карактеристика

На температура на течен хелиум (4,2 K) електродите се суперпроводни, електроните можат да тунелираат низ оксидната тунелска бариера без пад на напон на неа, и ова одговара на гранката 1 на U-I дијаграмот. Енергијата за разрушување на суперпроводниот електронски пар е 2Δ каде Δ -енергија на суперпроводен енергетски процеп. Со тоplotен или оптички извор или со протекување струја поголема од I_c може да се разрушат суперпроводните парови кога Џозефсоновиот спој преминува во режимот 2, каде R е омска отпорност на спојот. За логичките кола, постојана струја $I_0 < I_c$ минува низ контактот давајќи нулти пад на напонот (логичка "0"). За поминување во состојба 1 потребно е низ спојот да помине сигнална струја I_p , $I_0 + I_p > I_c$. Ова предизвикува пад на напон на спојот приближно $U = \Delta / e$ со доцнење $t \sim 10$ ps. Логичките кола на база на Џозефсонови споеви можат да ги извршуваат сите логички функции. Горната фреквенција е до 15 GHz, а дисипацијата $\sim 1 \mu W / \text{gejt}$. Со складирање на податоци во вид на суперпроводни струи во суперпроводни контури можат да се реализираат суперпроводни мемории. Контурите складираат т.н флуксани-кванти на магнетен флуks $\phi_0 = h/2e$. Заради суперпроводноста овие податоци би можеле да се чуваат бесконечно долго, слично на идеален кондензатор кој складира статички електрицитет. Со поврзување на Џозефсонови споеви со суперпроводните контури, податоците можат да се впишуваат или очитуваат со вклучување и исклучувања на суперпроводната состојба. Оваа технологија има проблеми со репродуктивноста, униформноста и ефикасното ладење, така што сеуште изостанува комерцијалната примена.