



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



ИСПИТИВАЊЕ ОСЕТЉИВОСТИ ЧИПА ICCD КАМЕРЕ

-дипломски рад-

Ментор:

Доц. Др Лазар Гавански

Кандидат:

Небојша Курјега

Нови Сад, 2021.

Садржај

Садржај	2
Увод.....	4
1. Оптички систем за снимање спектра плазме.....	5
1.1. Извори зрачења.....	5
1.1.1. Хелијум - неонски ласер.....	5
1.1.2. Полупроводнички ласер.....	7
1.2. Спектрометар.....	8
1.2.1. Улазна пукотина.....	9
1.2.2. Дифракциона решетка	9
1.3. ICCD камера	10
1.3.1. Интензифајер.....	11
1.3.2. MCP - мултиканалска плоча	12
1.3.3. Систем сочива за спрегу.....	13
1.3.4. CCD сензор - Видео јединица – јединица за снимање	13
2. Карактеристике ICCD камере	15
2.1. Одзив канала камере на монохроматско зрачење једнаког интензитета.....	15
2.1.1. Испитивање одзива канала CCD чипа HeNe ласером	15
2.1.2. Испитивање осетљивости канала CCD чипа на различитим интервалима очитавања по висини чипа	17
2.1.3. Упоредивање одзива канала CCD чипа	20
2.1.4. Испитивање одзива канала CCD чипа полупроводничким ласером	21
2.2. Провера калибрације система по таласним дужинама.....	23
2.2.1. Израчунавање спектралног интервала који заузима један канал CCD камере помоћу HeNe ласера	23

2.2.2. Израчунавање спектралног интервала који заузима један канал CCD камере помоћу зеленог полупроводничког ласера.....	25
Закључак	27
Литература.....	29
Биографија.....	30

Увод

Спектроскопија је област науке која се путем анализе електромагнетног зрачења бави проучавањем атома и молекула, процеса у пламеновима, одређивањем температуре плазме или хемијског састава усијаних гасова.

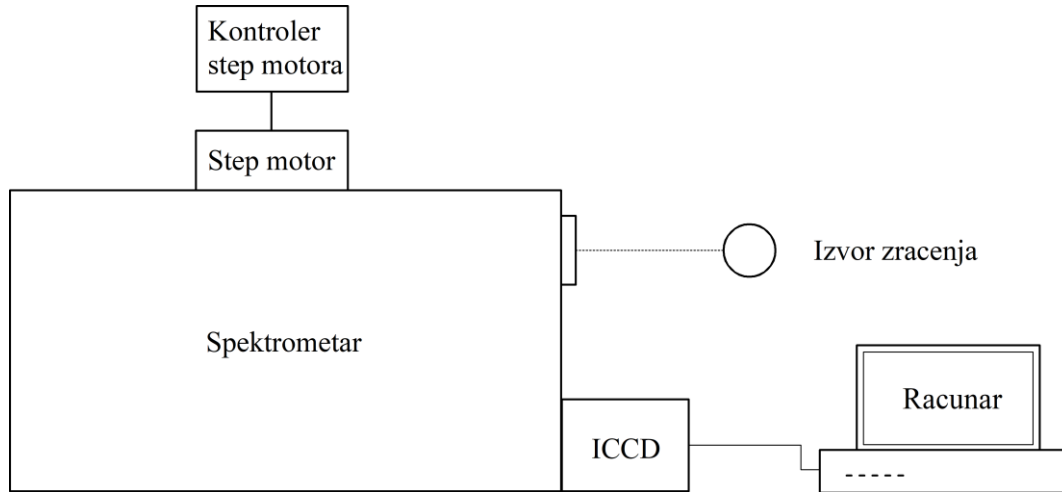
Спектрални уређаји раздвајају долазеће електромагнетно зрачење по таласним дужинама, а помоћу детектора се мери интензитет тог зрачења. Пре било какве анализе, мерни систем мора бити калибрисан и добро подешен како би правилно радио. Уколико се јаве неправилности у раду система, потребно је пажљиво испитати насталу неправилност и установити на ком делу мерног система је настала, као и њен узрок.

У овом раду је извршена провера осетљивости канала ICCD камере, која се у Лабораторији за физичку електронику Департмана за физику Природно – математичког факултета у Новом Саду користи као детектор зрачења у оптичком систему за спектроскопију плазме. У току спектроскопских мерења овим системом, уочено је да канали ICCD камере имају различиту осетљивост, па детектована спектрална расподела интензитета зрачења знатно одступа од оне коју извор зрачења емитује. Ово представља проблем при снимању спектра плазме, с обзиром да су снимљени спектри изобличени и не могу се користити за анализу процеса у плазми и дијагностику плазме. У овом раду је сниман интензитет једне спектралне линије на различитим каналима CCD чипа камере како би се утврдио одзив, тј. осетљивост, појединачних канала. Оваква мерења су извршена у две различите спектралне области како би се испитао утицај спектралне осетљивости целокупног система на одзив појединачних канала. Осим тога, проверена је и калибрација система по таласној дужини.

Испитивање осетљивости појединачних канала CCD чипа камере у овом раду је извршено како би се проверила исправност рада овог детектора и ближе дефинисао уочени проблем.

1. Оптички систем за снимање спектра плазме

Мерни систем коришћен у овом раду шематски је приказан на Слици 1. Зрачење емитовано из извора улази у спектрометар где се разлаже по таласним дужинама. На излазном отвору спектрометра налази се ICCD камера која представља детектор зрачења. ICCD камером управља се рачунаром.



Слика 1. Шематски приказ мерног система

1.1. Извори зрачења

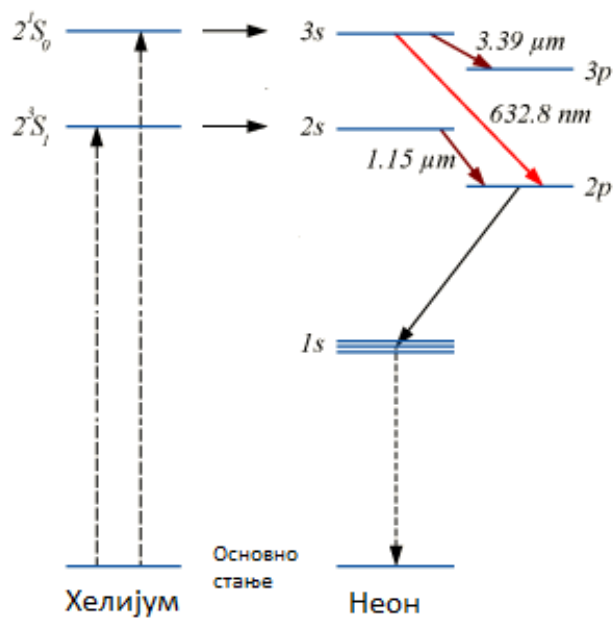
Циљ овог рада је испитивање правилности рада чипа ICCD камере, стога је било потребно користити изворе који емитују монохроматско зрачење познате таласне дужине, константног и довољног интензитета. Из тих разлога коришћени су хелијум - неонски (HeNe) ласер и полупроводнички ласер.

1.1.1. Хелијум - неонски ласер

Радна супстанца HeNe ласера је, као што и само име каже, смеша хелијума и неона у односу 10 према 1 који се налазе у стакленом суду на ниском притиску. Хелијум нема електронске прелазе који су радијативни, док неон има три; са таласним дужинама од 3390, 1150 и 632.8 нанометара. Међутим, неон има веома мали ефикасни пресек за сударе са електронима при електричном пражењу кроз гасну цев. Стога се и користи смеша са

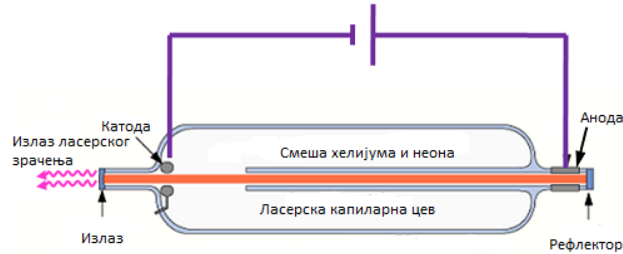
хелијумом, код кога је овај пресек далеко већи и који има веома сличне енергетске нивое, те може предавати енергију у резонантним прелазима атомима неона.

Хелијум се са нивоа 1^1S подиже на нивое 2^1S и 2^3S (Слика 2.). Ниво 2^1S је енергетски близак нивоу $3s$ код неона, а 2^3S нивоу $2s$. Најбитнији прелаз за функционисање HeNe ласера је онај са $3s$ на $2p$ ниво, с обзиром да он даје монохроматску светлост од 632.8 нанометара која се налази у црвеној области видљивог дела спектра. Зрачења од 3390 и 1150 нанометара могу се елиминисати одговарајућим избором огледала или постављањем стаклених плоча под Брустеровим углом.



Слика 2. Енергијски нивои хелијума и неона који учествују у емисији ласерског зрачења

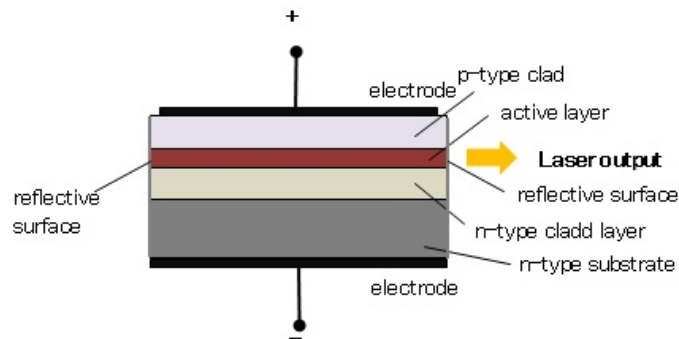
Унутрашњи пречник цеви је пар милиметара, док се њена дужина креће у опсегу од 0.5 до 2 метра. Огледала на крајевима ласера чине оптички резонатор од којих је једно делимично пропустљиво, односно има коефицијент рефлексije од 98% (Слика 3.). Овакав ласер не одликује велика снага, између 0.5 до 100 mW, али има предност континуалног рада.



Слика 3. Шематски приказ хелијум - неонског ласера

1.1.2. Полупроводнички ласер

Принцип рада полупроводничког ласера заснива се на LED-у (LED - light emitting diode), а основу грађе чини ПН спој. На субстрат Н типа, наноси се додатни слој Н типа и П типа. На граници између тих слојева се добија ПН спој који ће бити активан (Слика 4.). На горњу и доњу страну наносе се електроде, за регулацију напона. При директној поларизацији, долази до стимулисане емисије тек кад јачина струје кроз спој пређе одређени праг.



Слика 4. Шематски приказ полупроводничког ласера

Тада уз помоћ оптичког резонатора (два огледала постављена на странама као код HeNe ласера) долази до интензивног стварања кохерентне светлости. Фотони не могу да се крећу ван активног слоја јер и Н тип и П тип имају индекс преламања мањи од ПН споја. Овако добијена светлост није строго монохроматска, већ се састоји од светлости централне таласне дужине и блиских таласних дужина. Како се у полупроводницима са температуром мења концентрација електрона и шупљина, тако и таласна дужина емитованог зрачења прати тај тренд. Централна таласна дужина одређена је ширином

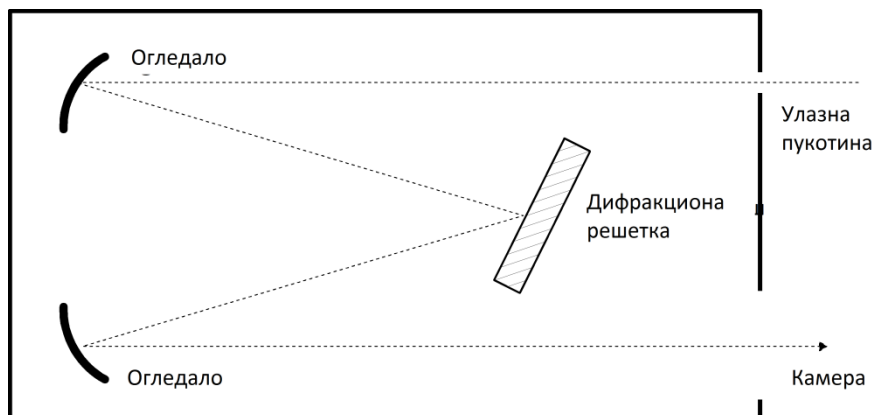
зобрањене зоне. Како се ради о једном ПН споју, димензије полупроводничких ласера су поприлично скромне, а може се добити светлост великог интензитета чак и са скромном електроником, што чини овај тип ласера веома применљивим и разноврсним.

1.2. Спектрометар

Спектрометар представља инструмент који служи за разлагање упадног зрачења по таласним дужинама. У конфигурацији Черни Тарнера састоји се од два конкавна огледала и једне рефлексивне решетке. Прво огледало, колиматорско, служи за усмеравање и колимисање светлости која дивергира, и у извору и на улазној пукотини, на дифракциону решетку. Решетка се подешава тако да се њеним ротирањем око нормале на Слика 5. може одабрати опсег таласних дужина светлости која ће бити усмерена на друго конкавно или камерно огледало. Функција тог огледала је да одабрани опсег усмери на камеру.

Дифракциона решетка ротира се помоћу степ мотора, који омогућава промену угла, а самим тим и таласне дужине у малим корацима.

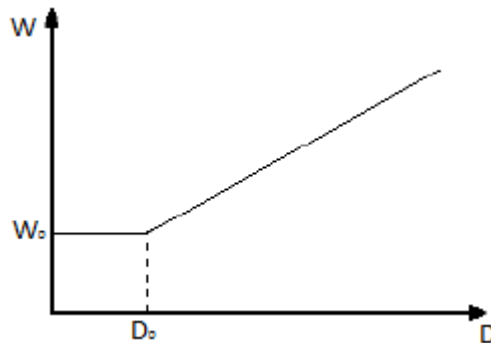
За потребе рада коришћен је спектрометар Черни Тарнеровог типа (Czerny-Turner) (Слика 5.), модел McPherson 2601. Као дисперзиони елемент користи рефлексивну решетку димензија 120mm x 140mm, која има 1200 зареза по милиметру. Спецификације овог модела чине фокална дужина 1m, резолуција од 0.018nm (при таласној дужини светлости од 313.1nm), линеарна дисперзија од 0.83nm/mm и ради у опсегу од 185 до 1300 нанометара.



Слика 5. Шематски приказ спектрометра

1.2.1. Улазна пукотина

Улазни пукотина представља отвор променљиве висине и ширине којом се добија узани лик извора светлости. Ширина лика смањује се линеарно са ширином пукотине до одређене вредности кад постаје константна, због појаве дифракције. Графички, зависност ширине лика W од ширине пукотине D може се приказати као на Слици 6. и најчешће се контролише микрометарским завртњем. У овом раду ширина излазне пукотине износила је 5 микрометара, ради ограничавања интензитета ласера.



Слика 6. Графичка зависност ширине лика од ширине пукотине

Висина пукотине није толико битна као ширина, те је и њено подешавање мало грубље. Користе се дијафрагме са скоковитом или континуалном променом висине (Слика 7.).



Слика 7. Скоковита и континуална промена висине пукотине

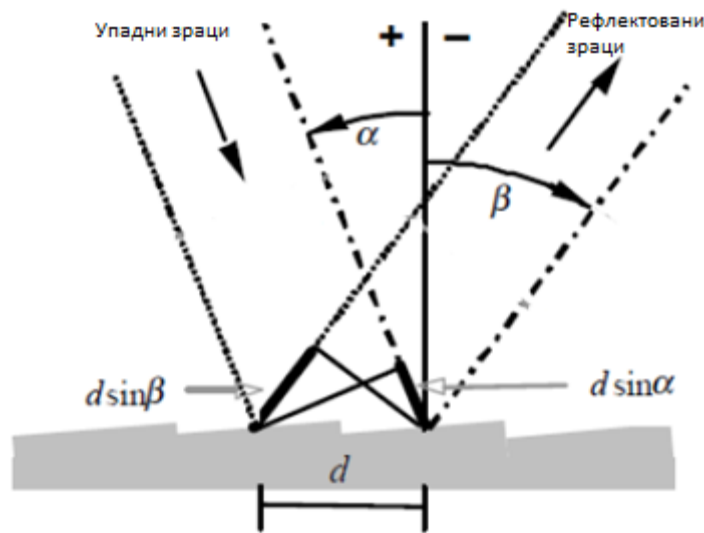
1.2.2. Дифракциона решетка

Коришћена решетка може се представити као скуп рефлектујућих елемената на растојањима приближним таласној дужини светлости. Уобичајене константе решетке су 600, 1200 и 2400 линија по милиметру. За потребе овог рада коришћена је решетка са 1200 зареза по милиметру. Једначина решетке, која се користи за издвајање дела спектра,

представља услов за конструктивну интерференцију, односно за дифракциони максимум. Код рефлексione решетке, то значи да паралелни зраци морају бити у истој фази. При рефлектовању са суседних зареза, зраци исте таласне дужине морају имати разлику путева једнаку целобројном умношку таласне дужине тих таласа. Једначина решетке је дата изразом:

$$d(\sin \alpha + \sin \beta) = n\lambda$$

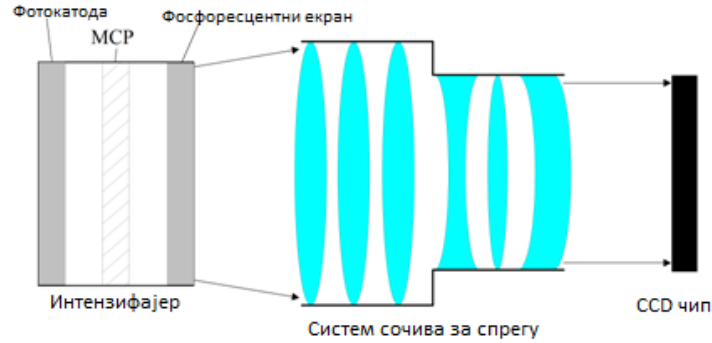
где d представља константу решетке, α и β су углови упадног и рефлектованог зрака, респективно, n ред дифракције, а λ таласна дужина светлости.



Слика 8. Рефлексија на дифракционој решетки

1.3. ICCD камера

Камера која се у овом раду користи за снимање спектра је ICCD (Intensified Charge Coupled Device) уређај. Састоји се из интензифајера, система сочива за спрегу и CCD чипа. Шематски приказ ICCD камере дат је на Слици 9.

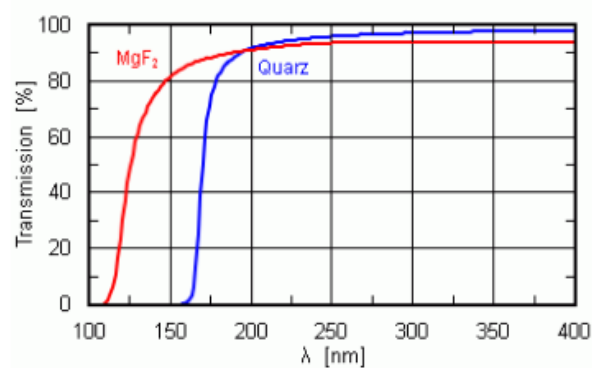


Слика 9. Шематски приказ ICCD камере

CCD чип може да ради и самостално, с тим да му коришћење интензифајера проширује могућности. Чип сам по себи може да детектује долазеће зрачење, али појачавач уводи могућност детектовања и много мањих интензитета и могућност гејтинга, односно представља бленду и користити се за одређивање брзине камере.

1.3.1. Интензифајер

Након улазног прозора, који је од материјала транспарентног за видљиву светлост (кварц) (MgF_2 за УВ), долази фотокатода која служи да претвори фотоне у фотоелектроне помоћу фотоелектричног ефекта. Иако кварц има бољи коефицијент трансмисије, ограничен је на рад до 200 nm, док MgF_2 пропушта мало шири опсег, што је приказано на Слици 10.



Слика 10. Зависност трансмисијности од таласне дужине светлости

При бирању материјала од ког се прави фотокатода, узима се у обзир квантна ефикасност и спектрална осетљивост на опсег светлости који ће бити анализиран

спектралним уређајем. При изради, од материјала се најчешће користе алкални метали и неке њихове комбинације, због лаког избијања валентног електрона. Квантна ефикасност дефинише се као број електрона који се створи по упадном фотону, а спектрална осетљивост говори о утицају таласне дужине на ову конверзију. Фотокатода се налази под напонам што омогућује гејтинг и игра улогу бленде. Уколико је прикључени напон негативан, електрони се убрзавају и стижу до МСП где ће бити умножени. Тад је камера гејтована (gated on) и електронска бленда – шатер је отворена. Међутим при промени напона на позитиван, електрони се успоравају и мењају смер, камера није гејтована (gated off) и бленда је затворена. Напон је обично подешен на 100V, а његов интензитет је одређен брзином којом камера треба да ради. То значи да при негативном напону електрони морају бити довољно убрзавани да стигну до МСП-а пре него што се напон промени на позитиван, односно да морају бити враћени до фотокатоде при обрнутом напону до наредне промене. Брзина бленде је ограничена једино електроником која регулише напон на фотокатоде, односно његову промену.

1.3.2. МСП - мултиканалска плоча

Наредни део интензификајера је МСП (Multi Channel Plate). Она представља плочу од полупроводничког материјала, са микрометарским каналима постављеним под малим угловима у односу на нормалу на површину плоче и обложена је са обе стране металним слојем. МСП повећава број електрона, тако што се њихов број при сваком судару са зидом канала експоненцијално повећава. Канали и јесу постављени из тог разлога под углом, како би долазило до судара, док електрони добијају енергију услед електричног поља добијеног прикључивањем напона на металне облоге. Појачање g МСП-а пречника микроканала D , дужине L и фактора појачања G , може се представити релацијом:

$$g = \exp\left(G \frac{L}{D}\right)$$

Типичан фактор мултипликације по степену МСП-а је 1000 секундарних електрона по једном упадном. Дакле, за једностепени је 1000, двостепени 10^6 , а за тростепени 10^8 због ефеката сатурације.

Битно је напоменути да се трострука плоча у пракси не користи. Поставка са једном плочом је за већину експеримената довољна, док се двострука користи при

екстремно малим интензитетима светлости, односно за појединачно пребројавање фотона или мерењима са дугом експозицијом.

Фосфорни екран на крају интензифајера помоћу ефекта фосфоресценције претвара лавину електрона назад у фотоне. Конверзиони фактор се креће у границама од 20 до 200 фотона по једном електрону. При одабиру врсте овог екрана, битни су и просторна резолуција и временска, односно време опадања фосфора.

1.3.3. Систем сочива за спрегу

ICCD камере су направљене тако да је неопходно купловање интензифајера и чипа, односно потребно је омогућити одговарајући пренос слике са фосфорног екрана на чип. Постоје две техничке могућности за остваривање упаривања; преко система сочива и преко оптичких влакана. Захтеви који се постављају су што већа ефикасност купловања и што бољи квалитет слике. Под ефикасношћу се сматра однос броја фотона који стигну до чипа од интензифајера, изражен у процентима. У камери коришћеној у овом раду је спрега интензифајера и чипа остварена системом сочива. Таква поставка очувава оптичку резолуцију, не фрагментује слику и нема дисторзије, а слику умањује тако да одговара димензијама чипа.

1.3.4. CCD сензор - Видео јединица – јединица за снимање

После интензифајера, системом сочива се преноси светлост на видео јединицу. Она се састоји од CCD чипа и електронике која ће да скупља информације и даје излазни сигнал погодан за анализу. CCD чип је сам по себи аналоган, тако да крајњи резултат зависи од кола у ком се налази.

CCD представља интегрисано коло које се састоји од мноштва повезаних - куплованих кондензатора. Сваки кондензатор у ствари представља по један пиксел. Димензија чипа се дају као производ броја пиксела по X оси (дужина) и Y оси (висина). Чип камере коришћене у овом раду има 1360 пиксела (канала) по дужини и 1024 по висини. Под дејством спољашњег напона, сваки од кондензатора има могућност да своје наелектрисање пребаци наредном.

Основна електронски елемент који стоји иза чипа је MOS кондензатор. Како се ради о матрици $X*Y$ пиксела; чип је раздвојен на регионе по дужини. Оваква подела је оправдана јер ће различитим координатама по X оси припадати различите таласне дужине, док ће различитим местима на Y оси припадати зрачење исте таласне дужине, са различитим висинама на улазној пукотини. Чип се конструише тако да се на одређеној X координати прави низ од Y MOS кондензатора. Тачније, један низ чини Y пиксела од којих сваки има свој слој SiO_2 (кварц), који делује као изолатор, и електроде, односно капије. Пиксели у низу повезани су преко заједничког епитаксијалног слоја који је фотоосетљив. Ради се о П допираном силицијуму, дакле полупроводнику П - типа. Пре доласка светла, на свим капијама је прикључен позитиван напон. И у одсуству зрачења постоји равнотежна концентрација електрона и шупљина, чије кретање одређује прикључени напон. По пристизању фотона, у фотоактивном делу постиже се стварање парова електрон – шупљина. Позитиван напон на капијама привлачи формиране електроне ка себи, међутим кварцни слој спречава њихов даљи проток и они остају у том слоју до наредне промене напона. Број створених парова је пропорционалан интензитету долазећег зрачења. Регулацијом напона на капијама врши се премештање електрона са пиксела на пиксел у једном низу. То се чини једноставним искључивањем напона на највишем пикселу, при чему се електрони спуштају на место ниже. Капије се редом искључују до последње у низу, тако да ова поставка делује као шифт регистар. Кад електрони достигну крај низа, теку кроз појачивач, а затим се мерењем јачине струје добија релативни интензитет светлости који је изазвао стварање парова на одређеном месту по дужини. Понављањем овог поступка за свако место на X координати врши се просторна реконструкција расподеле наелектрисања. Оваква поставка омогућава снимање релативних интензитета светлости по таласним дужинама. Могуће је и задати жељени висински интервал на коме ће бити вршено ишчитавање интензитета. Нежељене промене на слици може изазвати осветљавање CCD-а за време читавања. Овај проблем се елиминише коришћењем шатера.

2. Карактеристике ICCD камере

У овом делу рада представљене су неке карактеристике ICCD камере у тренутку писања овог рада. Коришћени извори зрачења дају непроширене спектралне линије, те се може сматрати да снимљене линије имају профил који је последица инструменталног ширења.

2.1. Одзив канала камере на монохроматско зрачење једнаког интензитета

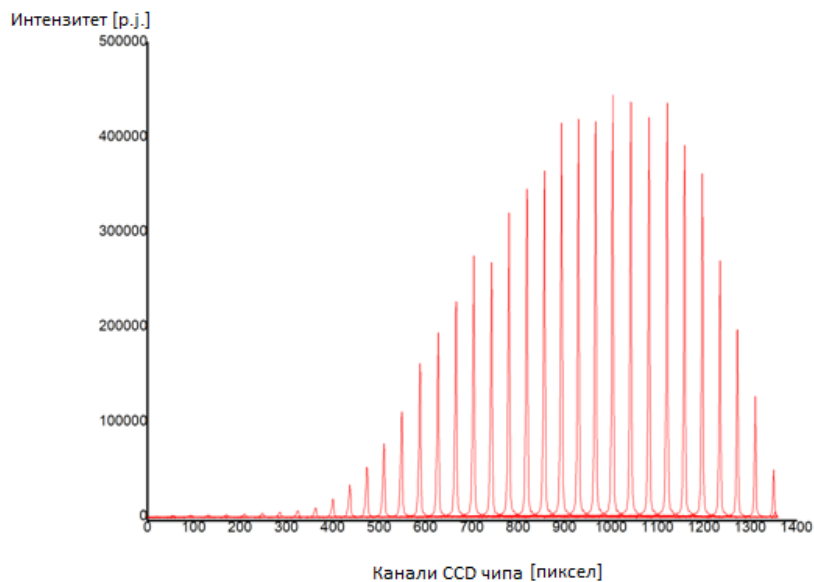
2.1.1. Испитивање одзива канала CCD чипа HeNe ласером

У овом делу експеримента снимана је спектрална линија неона од 632.8 nm на различитим каналима CCD чипа, при истим условима, са кораком од 0.4 nm.

Време експозиције износило је 1 ms, појачање на CCD чипу 10 dB, а напон на MCP-у 760 V. Начињено је по 100 снимака спектралне линије Ne 632.8 nm на сваком положају CCD чипа, а очитана је усредњена вредност. Сви снимци су кориговани на бекграунд (за корекције коришћени су резултати рада [1]).

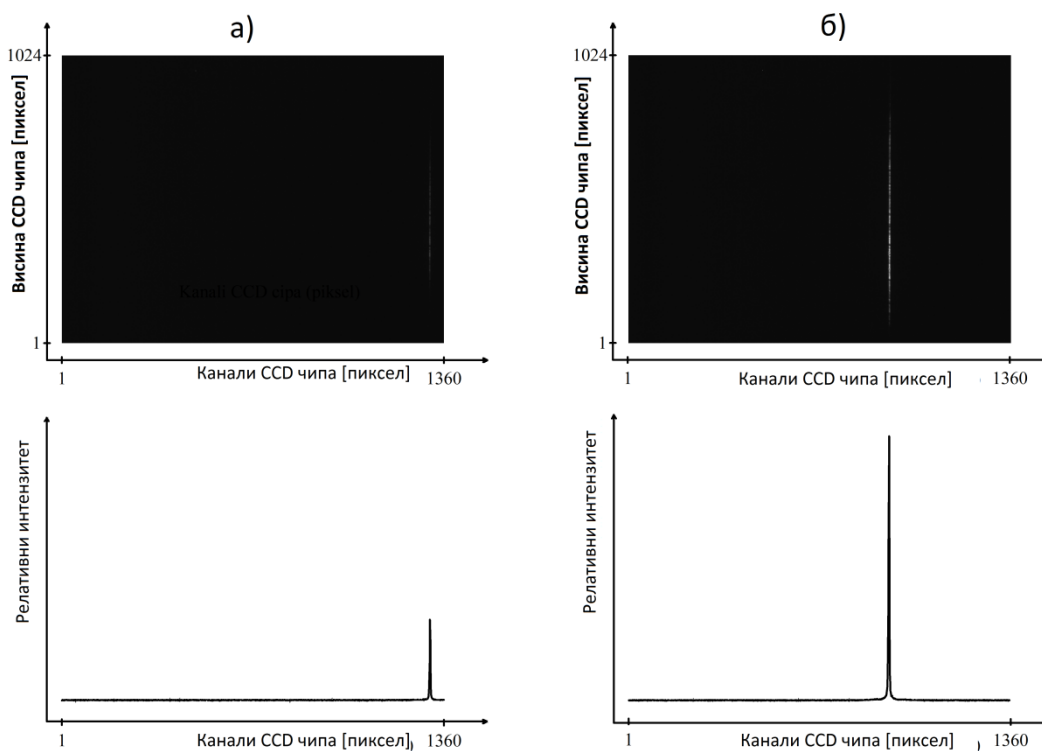
По висини CCD чипа, спектар је очитаван у интервалу од 500. до 600. пиксела.

На Слици 11. приказани су профили спектралне линије Ne 632.8 nm, снимљени на различитим каналима CCD чипа. Могу се уочити значајне разлике очитаног интензитета спектралне линије у зависности од канала на којем је снимљена. Највећи интензитет је у околини 1000. канала, а ка периферијама детектовани интензитет опада. На левој, краткоталасној, стани чипа слабљење интензитета је посебно изражено; детектовани интензитет је занемарљив већ у околини 400. канала.

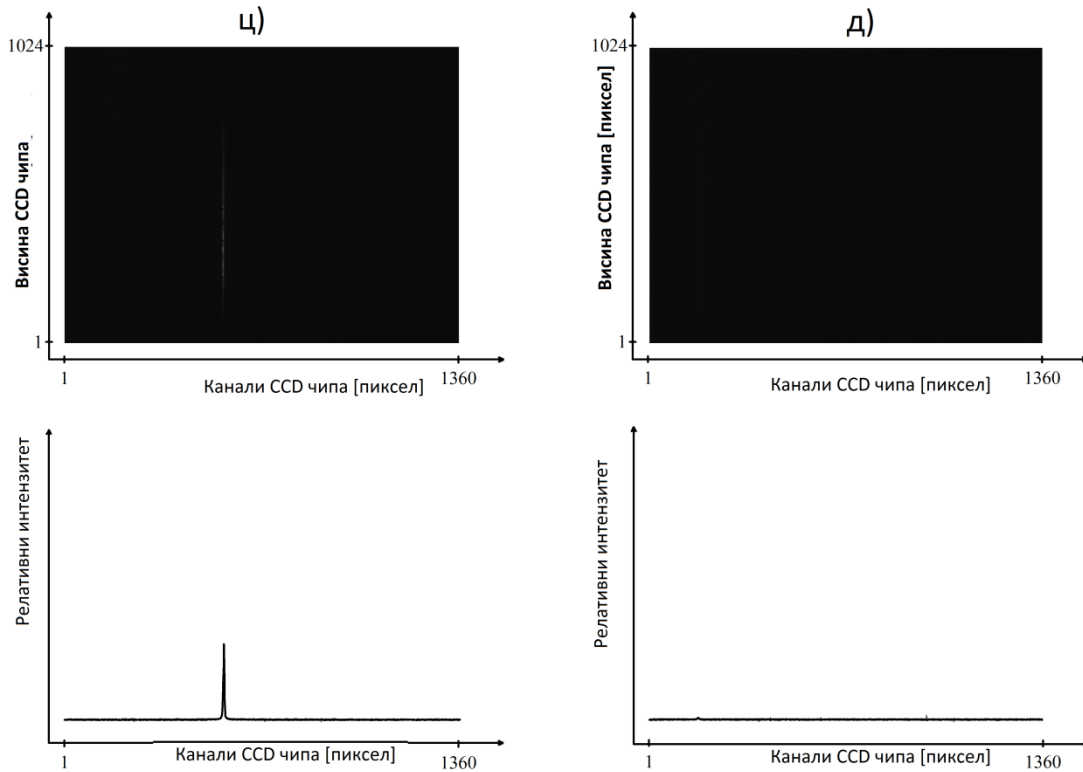


Слика 11. Профил спектралне линије Ne 632.8nm на различитим каналима CCD чипа

Наведена разлика у осетљивости канала може се видети и на фотографијама спектралне линије, приказаним на Слици 12 и Слици 13.



Слика 12. Фотографије спектралне линије Ne 632.8nm и читани спектри на различитим каналима CCD чипа: а) на 1311. каналу и б) на 930. каналу. Сви спектри читавани су из интервала од 500. до 600. пиксела по висини чипа.



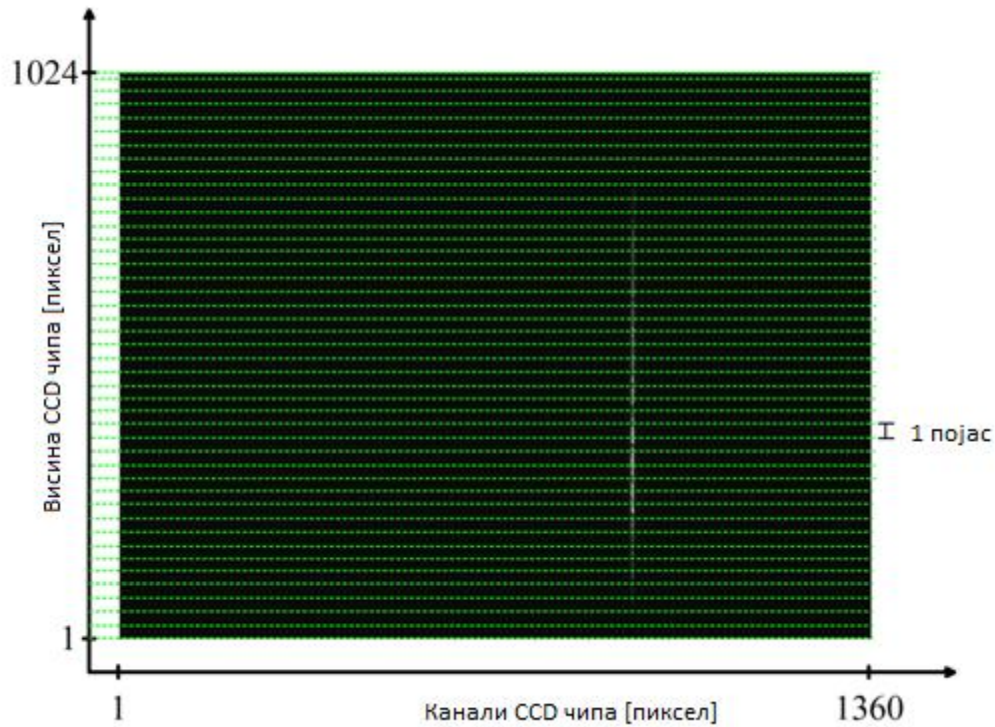
Слика 13. Фотографије спектралне линије Ne 632.8nm и очитани спектри на различитим каналима CCD чипа: ц) на 549. каналу и д) на 170. каналу чипа. Сви спектри очитавани су из интервала од 500. до 600. пиксела по висини чипа.

Ово указује на неправилности у раду ICCD камере у области од 1. до 400. канала CCD чипа. Осим неисправности чипа, могући су и други узроци овог проблема, попут запрљаности дифракционе решетке или одступања од правилног положаја камере на излазу спектрометра.

2.1.2. Испитивање осетљивости канала CCD чипа на различитим интервалима очитавања по висини чипа

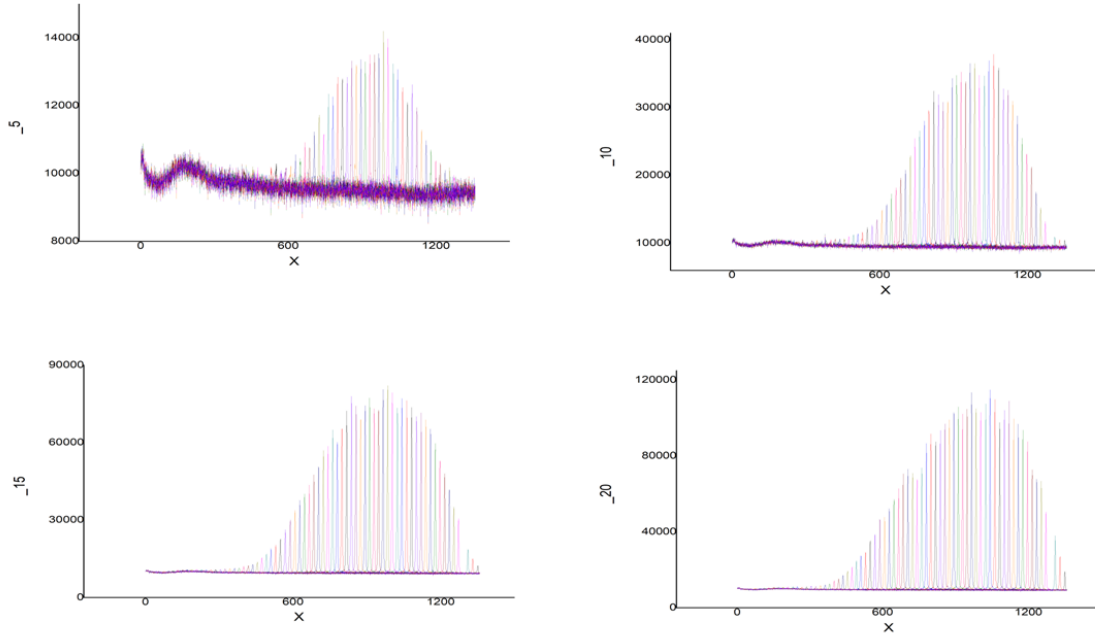
У овом делу рада проверавана је осетљивост канала CCD чипа, али при различитим висинским интервалима очитавања интензитета спектралне линије Ne 638.2nm. Интензитет спектралне линије сниман је на истим положајима и под истим условима као у поглављу 2.1.1., али је очитавање детектованог интензитета вршено у једнаким интервалима, а на различитим деловима по висини CCD чипа. Очитавање је вршено у 40

појасева, (приказаних на Слици 14.), од којих су 39 једнаке ширине, тако да обухватају по 26 пиксела; од 1. до 26., од 26. до 52., па све до појаса од 988. до 1014. пиксела. Последњи појас је ужи, и обухвата пикселе у интервалу од 1014. до 1024. по висини чипа.

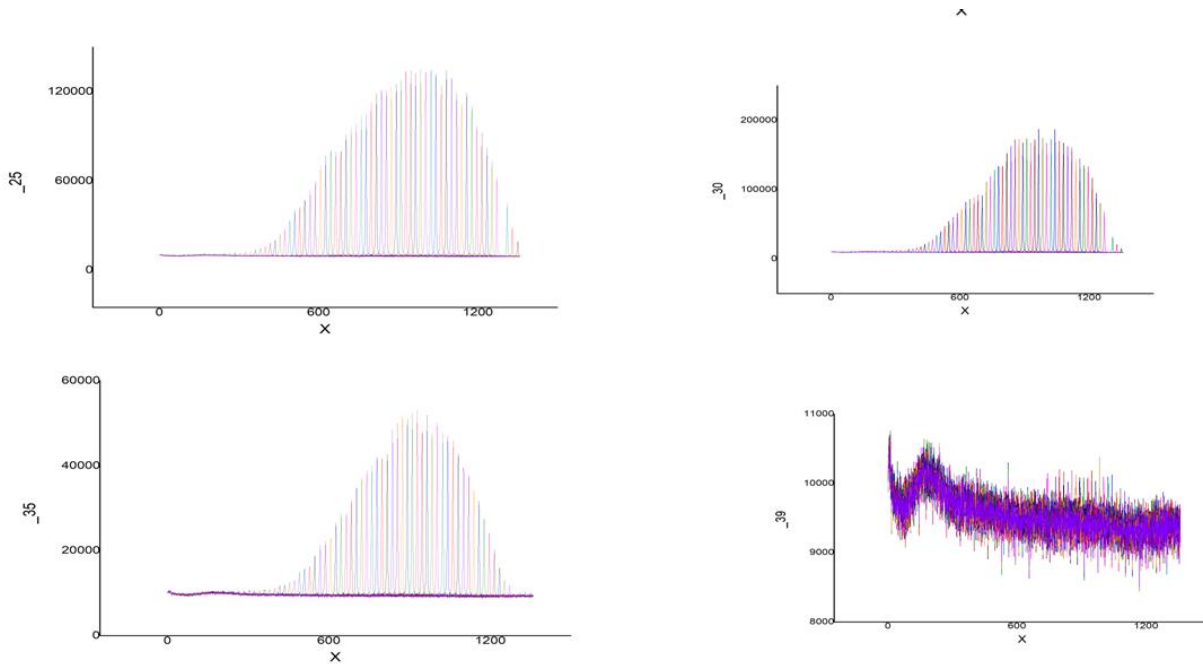


Слика 14. Илустрација коришћених појасева по висини CCD чипа

Након читавања, добијена расподела одзива канала приказана је за 8 појасева на Слици 15 и Слици 16.



Слика 15. Расподеле читане из појасева по висини: 104.-130., 234.-260., 364.-390. и 494.-520. пиксела



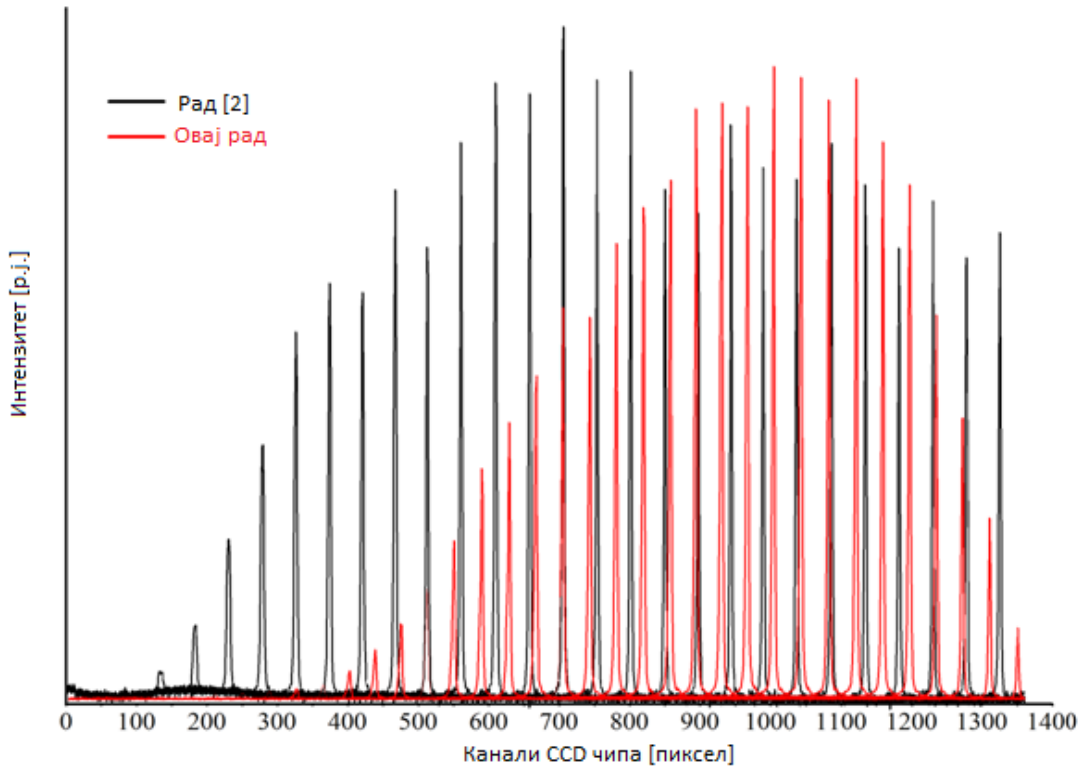
Слика 16. Расподеле читане из појасева по висини: 624.-650., 754.-780., 884.-910. и 988.-1014. пиксела

На основу приказаних резултата закључује се да осетљивост канала CCD чипа не зависи од висинског интервала из којег је читаван интензитет детектованог зрачења. Расподела осетљивости канала чипа је идентична оној која је добијена у поглављу 2.1.1. и не мења се са променом висинског појаса. Укупан интензитет детектованог зрачења опада

ка најнижим и највишим појасевима, највећи се читава са средишњег дела CCD чипа, али то је последица позиционирања lika улазне пукотине, односно спектралне линије на чипу (Слика 14.)

2.1.3. Упоредивање одзива канала CCD чипа

Процена стања CCD чипа рађена је поређењем одзива канала добијених у овом раду са одзивом канала добијених у раду [2]. У оба експеримента коришћени су исти HeNe ласер као извор зрачења, исти спектрометар и иста камера, са разликом у времену експозиције и начину атенуирања ласерског снопа пре уласка у спектрометар. Интензитет зрачења читаван је у висинском интервалу од 375. до 398. пиксела. Време експозиције за овај рад, као што је наведено у поглављу 2.1.1., износило је 1ms, а интензитет ласерског снопа пре проласка кроз улазну пукотину ослабљен је експандером, док је у раду [2] оно било 10 μ s, и коришћен је атенуатор. Без обзира на ове разлике, на CCD чип је у оба случаја падала, након проласка кроз спектрометар, спектрална линија Ne 632.8nm, чији је интензитет био константан у датом експерименту. У оба експеримента установљено је да осетљивост различитих канала CCD чипа није једнака, са падом одзива на краткоталасној страни чипа. Ипак, уочава се значајна разлика у униформности одзива канала у експерименту описаном у раду [2] наспрам овог рада (Слика 17.).

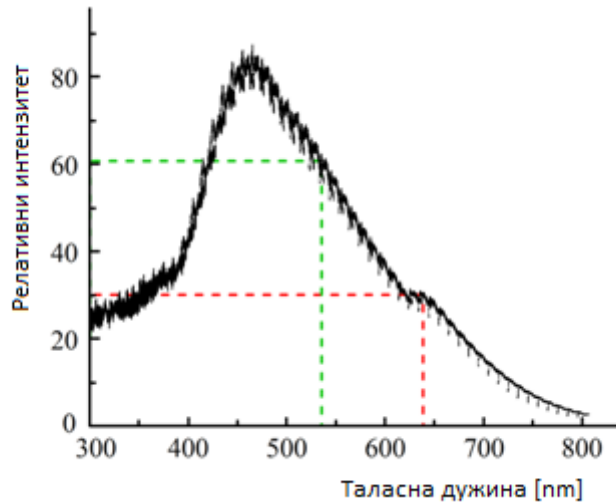


Слика 17. Одзив појединачних канала CCD чипа на зрачење таласне дужине 632.8nm. Подаци добијени у раду [2] приказани су црном линијом, док су црвеном линијом приказани подаци добијени у овом раду

Одзив канала CCD чипа у овом раду знатно је лошији, односно неуједначенији у односу на рад [2]. Пад одзива на краткоталасној страни чипа је чак толико већи да канали лево од 400. пиксела имају занемарљив одзив. Ово указује на могућу неисправност CCD чипа и свакако онемогућава коришћење мерног система на уобичајен начин.

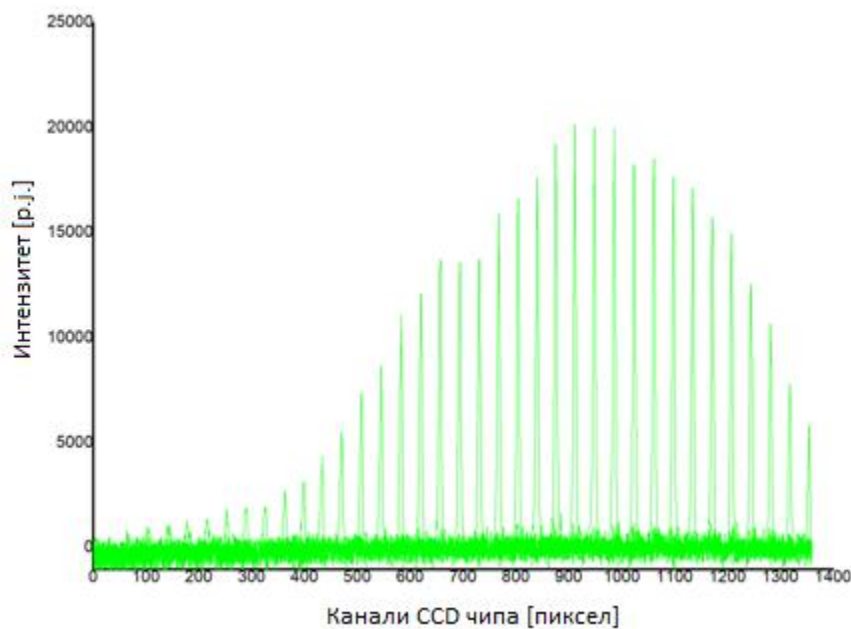
2.1.4. Испитивање одзива канала CCD чипа полупроводничким ласером

Снимање спектралне линије зеленог полупроводничког ласера вршено је при истим условима и подешавањима камере као и линија Ne 632.8nm описана у поглављу 2.1.1. Једина разлика је у краћем времену експозиције при којем је снимана линија зеленог ласера, а које је износило 10 μ s. Ово је учињено јер је спектрална осетљивост система у области таласних дужина које одговарају зеленом ласеру, већа него у области таласних дужина црвеног HeNe ласера (Слика 18.), те се скраћивањем времена експозиције спречавају оштећења CCD чипа која могу настати услед великог интензитета детектованог зрачења.



Слика 18. Спектрална осетљивост система је већа у области зелене светлости него у области црвене

Добијени одзив канала CCD чипа приказан је на слици 19.



Слика 19. Профил спектралне линије зеленог полупроводничког ласера на различитим каналима CCD чипа

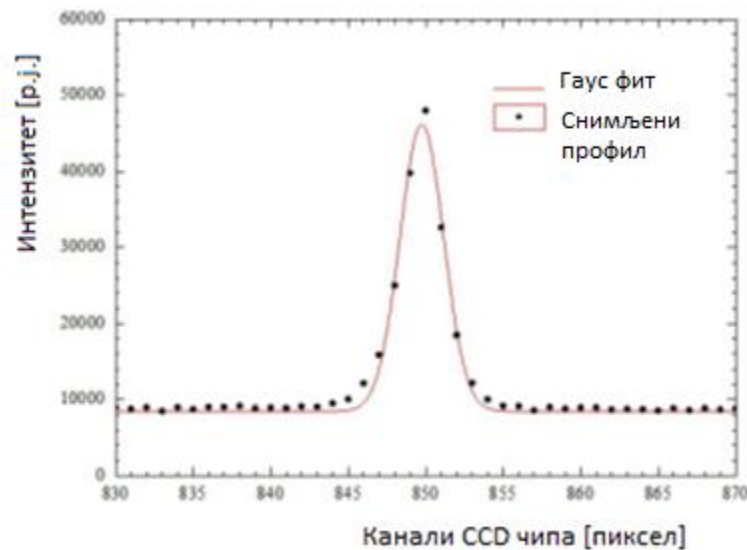
Као што се може видети, зеленим ласером добијена је скоро идентична расподела одзива канала као и у случају HeNe ласера. На тај начин је у две различите спектралне области, на којима се спектрална осетљивост значајно разликује, установљена слична неравномерност одзива канала CCD чипа. Дакле, запажена неправилност CCD чипа није у вези са спектралном осетљивошћу система.

2.2. Провера калибрације система по таласним дужинама

У раду [2] извршена је калибрација система по таласним дужинама, што подразумева израчунавање вредности једног пиксела у нанометрима, односно колико нанометара вреди 1 пиксел CCD чипа. С обзиром на уочене неправилности у одзиву канала описане у 2.1., у овом делу рада извршена је калибрација система по таласним дужинама, и проверено је да ли се она мењала у односу на рад [2].

2.2.1. Израчунавање спектралног интервала који заузима један канал CCD камере помоћу HeNe ласера

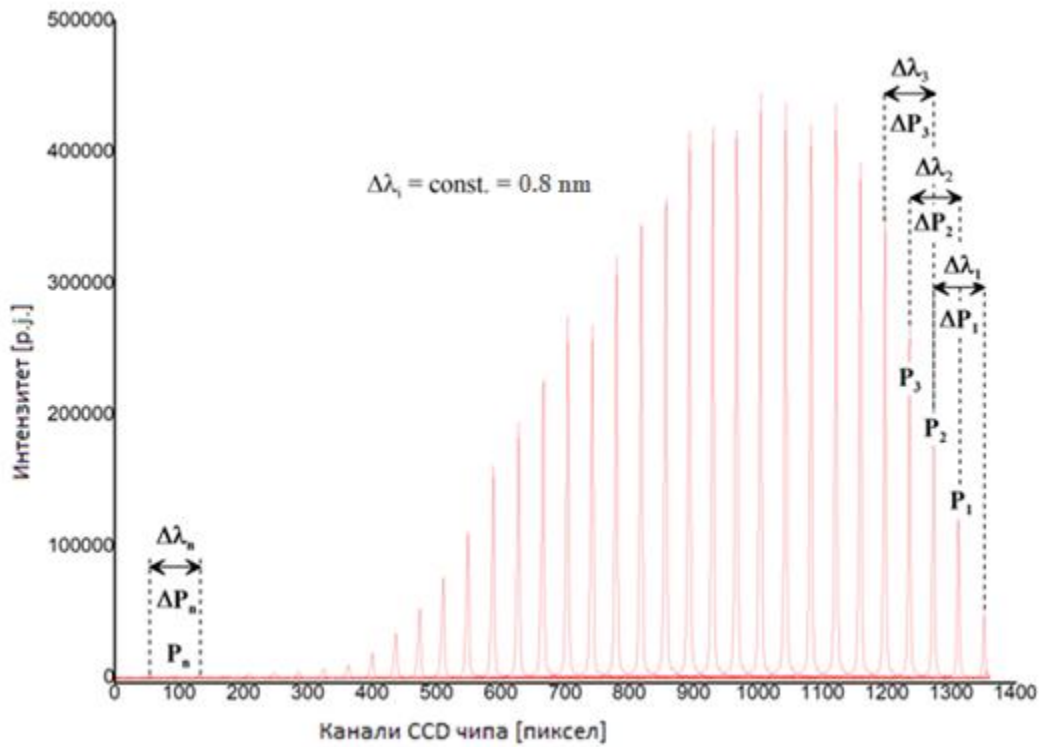
У овом делу рада за рачунање вредности једног канала у нанометрима коришћена је спектрална линија Ne 632.8 nm. Центар линије Ne 632.8 nm одређен је за сваки положај на CCD чипу на којем је она снимљена. Снимљена линија подложна је само инструменталном ширењу, тако да је на експерименталне податке фитован Гаусов профил. На основу резултата фита одређена је таласна дужина центра спектралне линије, као што је приказано на Слици 20. Овај поступак поновљен је за профил спектралне линије на сваком положају на CCD чипу на којем је она снимљена.



Слика 20. Фитовање података на Гаусов профил

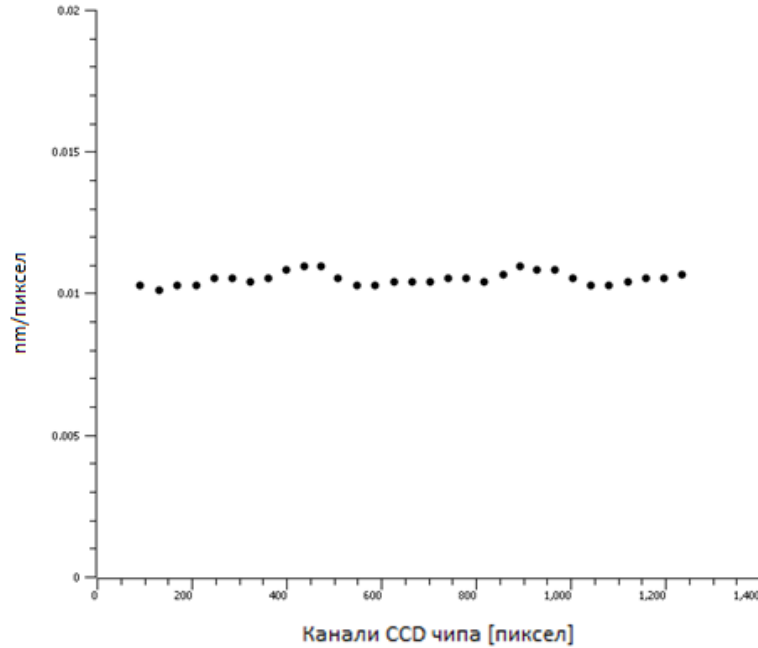
Како је раније наведено, корак закретања дифракционе решетке износио је 0.4nm, тако је и разлика таласних дужина суседних положаја спектралне линије на CCD чипу износила 0.4nm. Према томе, интервал таласних дужина између сваког другог положаја

износи 0.8nm (Слика 21.). За такав интервал сваке друге линије рачуна се разлика положаја центра линије у пикселима. Ово се врши за положаје дуж целог CCD чипа.



Слика 21. Приказ спектралног интервала у нанометрима $\Delta\lambda$ и у пикселима ΔP

Сваки интервал $\Delta\lambda$ дели се са сваким интервалом ΔP_i и на тај начин се добија колико нанометара заузима један пиксел, који би у овом случају био у центру интервала ΔP_i , означен са P_i . Тај централни пиксел интервала у ствари одговара положају центра линије ограниченог са ΔP_i . Зависност $\Delta\lambda / \Delta P_i$ од P_i представљена је графички на Слици 22.



Слика 22. Вредност једног пиксела у нанометрима, дуж CCD чипа за HeNe ласер

На овај начин, за таласну дужину зрачења од 632.8nm, добија се средња вредност од 0.0105nm по једном пикселу, што се слаже са вредношћу која је добијена извршеном калибрацијом у раду [2]. Према томе, калибрација система по таласним дужинама није нарушена, без обзира на неуниформан одзив канала CCD чипа.

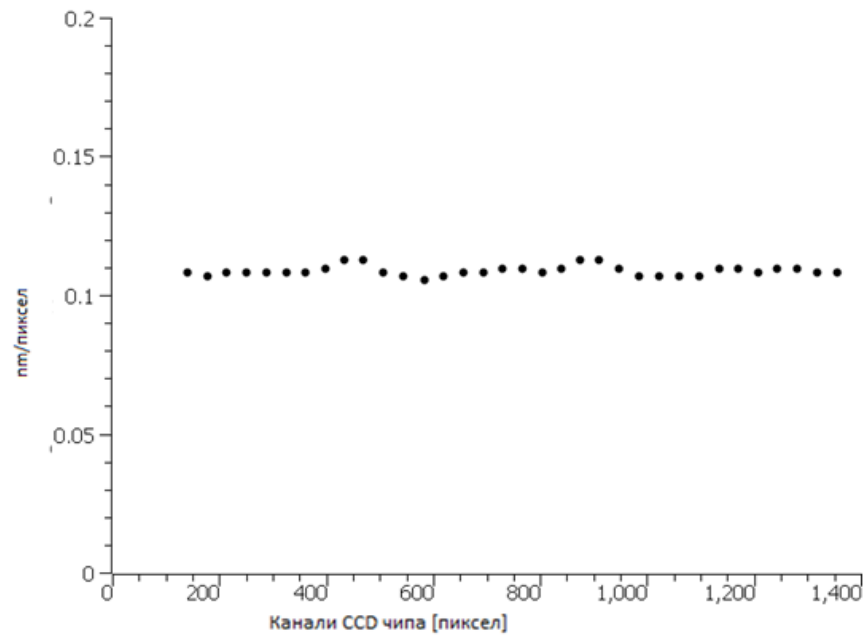
2.2.2. Израчунавање спектралног интервала који заузима један канал CCD камере помоћу зеленог полупроводничког ласера

Аналогно поступку описаном у 2.2.1., помоћу зеленог полупроводничког ласера може се одредити вредност једног пиксела у нанометрима, за таласну дужину овог ласера. Из тог разлога, прво се мора израчунати таласна дужина спектралне линије зеленог полупроводничког ласера користећи калибрациону формулу дату у раду [2]:

$$\lambda = (x - 680.5) * (0.011901 - 3.107 * 10^{-7} * \lambda_R - 2.909 * 10^{-9} * \lambda_R^2) + \lambda_R + \Delta$$

У наведеној једначини, λ представља тражену таласну дужину спектралне линије, x положај спектралне линије на CCD чипу, λ_R положај дифракционе решетке и Δ померај спектра. Добија се таласна дужина од 531.9 nm, што је у складу са произвођачком спецификацијом, према којој коришћени уређај емитује зрачење таласне дужине из опсега од 522 nm до 542 nm.

За одређивање вредности једног пиксела тражена је зависност $\Delta\lambda / \Delta P_i$ од P_i , која је приказана на Слици 23.



Слика 23. Вредност једног пиксела у нанометрима, дуж CCD чипа за зелени полупроводнички ласер

Добијена средња вредност износи 0.0109 нанометара по пикселу, што је у складу са вредностима добијеним у раду [2]. На овај начин потврђено је да ни у овој спектралној области није нарушена калибрација система по таласним дужинама.

Закључак

У овом раду извршена је провера осетљивости канала CCD чипа камере која се користи као детектор у оптичком систему за спектроскопију плазме у Лабораторији за физичку електронику, Департмана за физику Природно - математичког факултета у Новом Саду. Потреба за овом провером јавила се након што су примећене неправилности при раду ICCD камере у току спектроскопских мерења.

Прво је спектрална линија Ne 632.8 nm, емитована из хелијум-неонског ласера, снимљена на различитим каналима CCD чипа камере. Уочено је да детектовани интензитет нагло опада на краткоталасном крају чипа, на каналима испод 600. канала, при чему је одзив чипа у области од 1. до 400. канала занемарљиво мали. Ово представља проблем у раду камере, с обзиром да се у тој области зрачење скоро не детектује. Проверен је и утицај различитих висинских интервала чипа на одзив канала. Детектовани интензитет је прочитан у 40 појасева по висини CCD чипа и у сваком појасу је добијена слична расподела интензитета снимане спектралне линије по каналима. На основу тога се може закључити да сви пиксели по висини једног канала имају сличан одзив, односно избор висинског појаса читавања не утиче на осетљивост канала. Даље, добијени резултати су упоређени са резултатима у раду [2], чиме је потврђено да је одзив канала камере у области испод 600. веома слаб и знатно лошији у мерењима у овом раду у односу на мерења извршена у раду [2].

Затим је спектрална линија емитована из полупроводничког ласера снимљена на различитим каналима CCD чипа камере. Таласна дужина коришћене линије је измерена и износи 531.9 nm. Као резултат је добијена расподела детектованог интензитета по каналима CCD чипа камере која је веома слична расподели добијеној при снимању линије Ne 632.8 nm. И у овом случају интензитет детектованог зрачења нагло опада на каналима испод 600., а у области од 1. до 400. канала је одзив занемарљив. На основу тога се може закључити да уочена разлика одзива канала CCD чипа није повезан са спектралном осетљивости целог система, с обзиром да се у областима таласних дужина две коришћене линије (632.8 nm и 531.9 nm) спектрална осетљивост система знатно разликује.

Проверена је и калибрација система по таласној дужини и установљено је да она није нарушена.

На основу резултата добијених у овом раду може се закључити да постоји неправилност у раду ICCD камере, која се манифестује у драстичном паду осетљивости чипа у области од 1. до 600. канала. Могуће је да до овог пада осетљивости долази услед квара у самом чипу камере, одступања од идеалног положаја камере на излазу спектрометра, запрљаности дифракционе решетке спектрометра, као и услед других узрока. Отклањање установљене неправилности рада ICCD камере захтева опсежан и дуготрајан процес испитивања, откривања и уклањања сваког могућег узрока овог проблема, што превазилази опсег овог рада.

Литература

1. Гавански, Л. Б., (2011). *Инструментални профили оптичког система са ICCD камером за снимање оптичких спектра*, мастер рад, Природно - математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Србија
2. Блес, Б., (2019). *Калибрација оптичког система за спектроскопију плазме*, дипломски рад, Природно - математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Србија
3. Гавански, Л. Б., (2016). *Одређивање Штаркових полуширина спектралних линија јонизованог кисеоника и силицијума, емитованих из плазме произведене у електромагнетној ударној Т-цеви*, докторска дисертација, Природно - математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Србија
4. Хегедиш, Ш., (2009). *Одређивање осетљивости оптичког система са ICCD камером*, дипломски рад, Природно - математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Србија
5. Harrison, G. R., Lord R. C., Loofbourow, J. R., (1962). *Практична спектроскопија*, научна књига, Београд, Србија
6. Loewen, E., Palmer, C., (2005). *Diffraction grating handbook*, Newport Corporation, Rochester
7. <https://stanfordcomputeroptics.com/download/Brochure-4QuikE.pdf>
8. Мијатовић З., Ђуровић С., (2005). *Основи електронике и дигиталне електронике*, Природно - математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Србија

Биографија

Курјега Небојша рођен је 19.03.1998. године у Новом Саду. Похађао је основну школу "Вељко Дугошевић" у Руми. Године 2017. завршио је гимназију "Стеван Пузић" и уписао Природно - математички факултет у Новом Саду, смер физика, модул истраживачки.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Diplomski rad

VR

Autor:

Nebojša Kurjega

AU

Mentor:

Dr Lazar Gavanski

MN

Naslov rada:

Ispitivanje osetljivosti čipa ICCD kamere

NR

Jezik publikacije:

srpski (ćirilica)

JP

Jezik izvoda:

srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2021

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

MA

<i>Fizički opis rada:</i>	2 poglavlja, 28 stranica, 21 slika, 8 referenci
FO	
<i>Naučna oblast:</i>	Fizika
NO	
<i>Naučna disciplina:</i>	Fizika atoma, molekula i jonizovanih gasova
ND	
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i>	CCD čip, laser, osetljivost kanala, ICCD kamera
PO	
UDK	
<i>Čuva se:</i>	Biblioteka Departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
ČU	
<i>Važna napomena:</i>	nema
VN	
<i>Izvod:</i>	Ispitana je osetljivost kanala CCD čipa ICCD kamere u dve spektralne oblasti. Kao izvori zračenja su korišćeni HeNe i poluprovodnički laser. Proverena je osetljivost kanala CCD čipa u različitim pojasevima po visini čipa. Proverena je kalibracija sistema po talasnoj dužini.
IZ	
<i>Datum prihvatanja teme od NN veća:</i>	
DP	
<i>Datum odbrane:</i>	
DO	
<i>Članovi komisije:</i>	
KO	
<i>Predsednik:</i>	Dr Mirjana Šiljegović, docent, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu
<i>član:</i>	Dr Teodora Gajo, docent, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu
<i>član:</i>	Dr Lazar Gavanski, docent, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Nebojša Kurjega

AU

Mentor/comentor:

Dr Lazar Gavanski

MN

Title:

Examination of ICCD camera chip sensitivity

TI

Language of text:

Serbian (Cyrillic)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2021

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

2.2.2.1.1	Physical	2 chapters, 28 pages, 21 figures, 8 references
description:		
2.2.2.1.2	PD	
<i>Scientific field:</i>		Physics
SF		
<i>Scientific discipline:</i>		Physics atoms, molecules and ionized gasses
SD		
<i>Subject/ Key words:</i>		CCD chip, laser, channel sensitivity, ICCD camera
SKW		
UC		
<i>Holding data:</i>		Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
HD		
<i>Note:</i>		none
N		
<i>Abstract:</i>		The sensitivity of CCD chip channels of an ICCD camera was examined in two spectral regions. A HeNe and semiconductor laser were used as radiation sources. The CCD chip channel sensitivity was examined in different chip height bands. Wavelength calibration was verified.
AB		
<i>Accepted by the Scientific Board:</i>		
ASB		
<i>Defended on:</i>		
DE		
<i>Thesis defend board:</i>		
DB		
<i>President:</i>		Dr Mirjana Šiljegović, assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
<i>Member:</i>		Dr Teodora Gajo, assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
<i>Member:</i>		Dr Lazar Gavanski, assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad