

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق

گرایش الکترونیک

عنوان:

شبیه سازی عددی آشکارسازهای نوری HgCdTe

استاد راهنما:

دکتر عبدالنبی کوثریان

استاد مشاور:

دکتر محمد سروش

نگارنده:

بهاره برومندنسب

آبان ۱۳۹۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه خانم بهاره برومندنسب دانشجوی رشته: مهندسی برق گرایش: الکترونیک

دانشکده مهندسی به شماره دانشجویی 9042004

با عنوان :

شبیه‌سازی عددی آشکارسازهای نوری HgCdTe

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : 92/8/28 توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار

گرفت و با درجه بسیار خوب تصویب گردید.

1.	اعضای هیأت داوران :	رتبه علمی	امضاء
	استاد راهنما: دکتر عبد النبی کوثریان	دانشیار
	استاد مشاور : دکتر محمد سروش	استادیار
	استاد داور : دکتر هومان کعبی	استادیار
	استاد داور : دکتر غلامرضا اکبری زاده	استادیار
	نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر رضا باهوش کازرونی	استادیار
2.	مدیرگروه : دکتر محمد سروش	استادیار
3.	معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی	استادیار
4.	مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر رحیم پیغان	استاد

تقديم به

عزيزانم

قدردانی و تشکر

با سپاس بیکران از خداوند کریم برای تمامی نعمت‌هایش از پدر و مادر عزیزتر از جانم، همسر مهربان و فرزند عزیزم که همواره همراه و پشتیبان من بوده‌اند، تشکر می‌کنم. همچنین از زحمات بی‌دریغ استاد راهنما جناب آقای دکتر عبدالنبی کوثریان و استاد مشاور جناب آقای دکتر محمد سروش که با راهنمایی‌ها و مشاوره‌های خود مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند قدردانی می‌نمایم. در خاتمه از تمامی اساتید گروه برق دانشگاه شهید چمران اهواز که در ارتقاء علمی اینجانب نقش داشته‌اند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

نام خانوادگی: برومندنسب	نام: بهاره	شماره دانشجویی: ۹۰۴۲۰۰۴
عنوان پایان نامه: شبیه‌سازی عددی آشکارسازهای نوری HgCdTe		
استاد راهنما: دکتر عبدالنبی کوثریان		
استاد مشاور: دکتر محمد سروش		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: برق	گرایش: الکترونیک
دانشگاه: شهید چمران اهواز	دانشکده: مهندسی	گروه: برق
تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۹۲/۸/۲۸		تعداد صفحه: ۹۸
<p>کلید واژه‌ها: آشکارسازهای نوری، شبیه‌سازی، رانش- نفوذ، تونل‌زنی، بازترکیب اوژه، بازترکیب شاکلی-رید-هال</p> <p>هدف از این تحقیق شبیه‌سازی عددی آشکارسازهای نوری $Hg_{1-x}Cd_xTe$ به کمک دسته معادلات رانش-نفوذ به منظور بررسی مشخصات درونی از جمله توزیع حامل‌های بار الکتریکی و بار کل فضا، توزیع میدان، ساختار تراز هدایت و تراز ظرفیت است؛ این شبیه‌سازی همچنین بررسی مشخصات خروجی آشکارساز نوری از قبیل منحنی ولتاژ جریان، منحنی آشکارسازی، جریان تاریک، بازده کوانتومی و غیره می‌پردازد. در ابتدا به معرفی مدل رانش-نفوذ پرداخته شده است و سپس برای حل مدل رانش-نفوذ از الگوریتم گامل استفاده شده است. این الگوریتم برای ادوات نیمه‌هادی در ابعاد میکرومتر به خوبی عمل می‌کند. در شبیه‌سازی‌های انجام شده اثر تونل-زنی، باز ترکیب اوژه و شاکلی-رید-هال در نظر گرفته شده است؛ برای بالا بردن دقت شبیه‌سازی، اثر تغییرات دمایی نیز لحاظ شده است. شبیه‌سازی در محیط برنامه‌نویسی Matlab انجام شده و نتایج به دست آمده از مدل با داده‌های معتبر علمی مقایسه شده است. این مقایسه نشان دهنده عملکرد مطلوب این شبیه‌ساز است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که شبیه‌ساز طراحی شده برای بررسی عملکرد آشکارسازهای نوری با ابعاد میکرومتر به لحاظ دقت و صحت، بسیار مناسب است.</p>		

فهرست مطالب

i.....	فهرست مطالب.....
iv.....	فهرست اشکال.....
v.....	فهرست جداول.....
vi.....	جدول علائم و اختصارات.....
viii.....	چکیده.....
1.....	فصل 1
2.....	مقدمه.....
2.....	1-1- کاربرد آشکارسازهای نوری مادون قرمز.....
4.....	2-1- مواد دسته VI- II.....
5.....	3-1- جیوه کادمیوم تلوراید HgCdTe.....
5.....	4-1- دسته‌بندی آشکارسازهای نوری.....
5.....	1-4-1- مقاومت‌های نوری.....
6.....	1-2-4- دیود PN.....
7.....	1-3-4- دیود PIN.....
8.....	1-4-4- آشکارساز نور بهمنی.....
9.....	1-5- اهداف پایان‌نامه.....
11.....	فصل 2
12.....	مقدمه.....
12.....	1-2- ویژگی‌های HgCdTe.....
13.....	2-1-1- غلظت حامل ذاتی.....
13.....	2-1-2- گاف انرژی.....
13.....	2-3-1- جرم موثر.....
14.....	2-4-1- قابلیت حرکت.....
15.....	2-5-1- ضریب گذردهی الکتریکی.....
15.....	2-2- مروری بر تحقیقات پیشین.....
20.....	فصل 3
21.....	مقدمه.....
21.....	3-1- شبیه‌سازی و هدف از انجام آن.....

- 22.....مدل انتقال حامل ها.....2-3
- 25.....مدل رانش - نفوذ.....3-3
- 26.....مکانیزم های تولید و باز ترکیب.....4-3
- 27.....باز ترکیب شاکلی -رید-هال.....1-4-3
- 31.....باز ترکیب تابشی.....2-4-3
- 32.....باز ترکیب اوژه.....3-4-3
- 33.....تولید نوری.....4-4-3
- 35.....مدل جذب نوری.....5-3
- 36.....حل عددی معادلات DDM.....6-3
- 37.....انتخاب متغیرهای مستقل.....1-6-3
- 38.....گسسته سازی معادلات دیفرانسیلی با روش تفاضل محدود.....2-6-3
- 41.....نرمال سازی معادله پواسون.....3-6-3
- 43.....گسسته سازی و نرمال سازی معادلات DDM (در یک بُعد).....4-6-3
- 43.....در تعادل حرارتی.....1-4-6-3
- 46.....در شرایط عدم تعادل حرارتی.....2-4-6-3
- 48.....معادله پیوستگی الکترون و حفره.....7-3
- 52.....روش های عددی حل معادلات DDM.....8-3
- 52.....الگوریتم تکرار گامل.....1-8-3
- 53.....روش جای گذاری LU.....1-1-8-3
- 56.....عملکرد آشکارساز.....9-3
- 56.....راندمان کوانتومی.....1-9-3
- 59.....آشکارسازی.....2-9-3
- 60.....پاسخ دهی.....3-9-3
- 60.....فلوچارت برنامه ی شبیه سازی.....10-3
- 65.....فصل 4.....
- 66.....مقدمه.....
- 66.....خواص مواد.....1-4
- 67.....غلظت حامل ذاتی.....1-1-4
- 68.....گاف انرژی.....2-1-4
- 69.....پیوند PN.....2-4

74.....	3-4- پیوند PIN.....
78.....	4-4- مشخصات $I - V$
78.....	1-4-4 پیوند PN.....
83.....	1-4-4 پیوند PIN.....
85.....	5-4- عملکرد آشکارساز.....
85.....	1-5-4- بازده کوانتومی.....
87.....	2-5-4- آشکارسازی.....
88.....	3-5-4- پاسخدهی.....
90.....	فصل 5.....
91.....	1-5- نتیجه گیری.....
92.....	2-5- پیشنهادها.....
93.....	مقالات استخراج شده از این پایان نامه.....
94.....	فهرست منابع.....

فهرست اشکال

- شکل 1-1: طیف نور [2]..... 3
- شکل 2-1: فرآیند بهمنی..... 9
- شکل 1-3: حالت‌های مختلف گسیل و به دام انداختن [36]..... 28
- شکل 2-3: شماتیک فرآیندهای اوژه [39]..... 32
- شکل 3-3: منحنی طول عمر اوژه در برابر $1000 / T$ [22]..... 34
- شکل 4-3: ضریب جذب $Hg_{1-x}Cd_xTe$ برای غلظت مولی $(x = 0.225)$ در برابر انرژی..... 36
- شکل 5-3: تقریب مشتق تابع $f(x)$ (شیب خط مماس بر منحنی) در نقطه‌ی P [41]..... 39
- شکل 6-3: p-n با ساختار تابش از مقابل..... 57
- شکل 7-3: شماتیک یک دیود نوری پیوند p-n..... 58
- شکل 8-3: بازده کوانتومی در مقابل طول موج، برای $d < L_p$ و $d > L_p$ 59
- شکل 11-3-الف: فلوجارت برنامه شبیه‌سازی..... 61
- شکل 11-3-ب: فلوجارت برنامه شبیه‌سازی..... 62
- شکل 11-3-ج: فلوجارت برنامه شبیه‌سازی..... 63
- شکل 11-3-د: فلوجارت برنامه شبیه‌سازی..... 64
- شکل 1-4: غلظت حامل‌های ذاتی در مقابل دما است..... 67
- شکل 2-4: غلظت حامل‌های ذاتی در مقابل کسر مولی کادمیوم..... 67
- شکل 3-4: غلظت حامل‌های ذاتی در مقابل دما برای سه کسر مولی متفاوت..... 68
- شکل 4-4: گاف انرژی در مقابل کسر مولی در دمای 78K..... 69
- شکل 5-4: گاف انرژی در مقابل درجه حرارت در $x = 0.225$ 69
- شکل 6-4: نمایش شماتیک PN..... 70
- شکل 7-4: نمودار تراز هدایت و تراز ظرفیت در مقابل فاصله..... 71
- شکل 8-4: نمودار تراز هدایت و تراز ظرفیت در مقابل فاصله برای ولتاژهای بایاس متفاوت..... 72
- شکل 9-4: میدان الکتریکی در مقابل فاصله..... 72
- شکل 10-4: شماتیک یک دیود PIN..... 74
- شکل 11-4: نمودار تراز هدایت و تراز ظرفیت در مقابل فاصله..... 75
- شکل 12-4: نمودار تراز هدایت و تراز ظرفیت در مقابل فاصله برای ولتاژهای بایاس متفاوت..... 76
- شکل 13-4: میدان الکتریکی در مقابل فاصله..... 76

- شکل 4-14: جریان تاریک در مقابل ولتاژ، منطقه تحت کنترل انتشار و تونل زنی 79
- شکل 4-15: مقایسه‌ی ویژگی‌های جریان تاریک برای $Hg_{1-x}Cd_xTe$ در چهار دما 79
- شکل 4-16: جریان تاریک با و بدون مدل تونل زنی 80
- شکل 4-17: جریان در مقابل ولتاژ بایاس، به ازای دو دمای متفاوت 81
- شکل 4-18: مقاومت دینامیک در مقابل ولتاژ معکوس 81
- شکل 4-19: مقاومت دینامیک در مقابل ولتاژ بایاس به ازای دو دمای متفاوت 82
- شکل 4-20: مقایسه‌ی ویژگی‌های جریان تاریک برای $Hg_{1-x}Cd_xTe$ در چهار دما 83
- شکل 4-21: جریان در مقابل ولتاژ بایاس، به ازای دو دمای متفاوت 83
- شکل 4-22: مقاومت دینامیک در مقابل ولتاژ معکوس 84
- شکل 4-23: مقاومت دینامیک در مقابل ولتاژ بایاس به ازای دو دمای متفاوت 85
- شکل 4-24: مقایسه بازده کوانتومی برای سه دما 86
- شکل 4-25: مقایسه بازده کوانتومی برای طول‌های مختلف ناحیه‌ی n 86
- شکل 4-26: آشکارسازی در مقابل طول موج در دماهای مختلف برای افزاره‌ی PN 87
- شکل 4-27: NEP در مقابل طول موج در دماهای 77K برای افزاره‌ی PN 87
- شکل 4-28: پاسخ‌دهی در برابر طول موج را در دماهای مختلف 88

فهرست جداول

- جدول 1-1: تقسیم‌بندی ناحیه مادون قرمز به بخش‌های کوچک [1] 5
- جدول 1-3: پارامترهای نرمال‌سازی در DDM 42
- جدول 1-4: مشخصات افزاره‌ی PN 70
- جدول 2-4: مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی عددی پیوند PN با مقادیرهای تحلیلی [51] 73
- جدول 3-4: مشخصات افزاره‌ی PIN 74
- جدول 4-4: مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی عددی پیوند PIN با مقادیرهای تحلیلی [51] 77
- جدول 5-4: مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با مقادیر تحلیلی [54-53] 89

جدول علائم و اختصارات

X	غلظت مولی
T	دما
α	ضریب جذب
E_g	گاف انرژی
m^*	جرم موثر
μ	تحرک
E	ضریب گذردهی خلاء
k_b	ثابت بولتزمن
J	چگالی جریان
U	نرخ تولید-باز ترکیب
V	پتانسیل الکتریکی
D	ضریب نفوذ
E	میدان الکتریکی
T	طول عمر
σ	سطح مقطع جذب
V_{th}	سرعت حرارتی
G	نرخ تولد
R	نرخ باز ترکیب
N_A	غلظت دهنده‌ها
N_D	غلظت پذیرنده‌ها
L_D	طول دبای
V_t	پتانسیل گرمایی
W	عرض ناحیه‌ی تخلیه
I	جریان
$R_{Dynamic}$	مقاومت دینامیک
n_i	چگالی ذاتی
L	طول انتشار
η	بازده کوانتومی
λ	طول موج
D^*	آشکار سازی

R_0

مقاومت بایاس صفر

A

مساحت

h

ثابت پلانگ

فصل اول

مقدمه

مقدمه

مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر شبیه‌سازی‌های انجام شده بر روی افزاره‌های نیمه‌رسانا باعث پیشرفت‌های چشم‌گیری در زمینه‌ی تولید آن‌ها با قیمت پایین‌تر و بازده بالاتر شده است. یکی از افزاره‌های نیمه‌رسانا که امروزه کاربرد بسیاری در صنعت، پزشکی، ارتباطات و مقاصد نظامی دارد، آشکارسازهای نوری هستند [1].

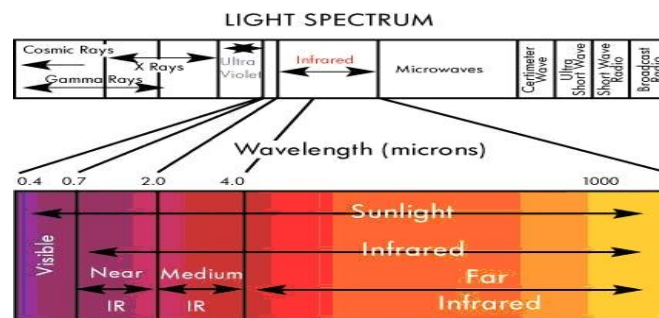
در این فصل به منظور درک نقش آشکارسازهای نوری و اهمیت شبیه‌سازی آن‌ها در دنیای امروزی، ابتدا به بررسی کاربرد آشکارسازهای نوری و سپس به معرفی انواع آن‌ها می‌پردازیم.

1-1 کاربرد آشکارسازهای نوری مادون قرمز

افزاره‌ای که تعامل آن با نور از طریق تولید، اندازه‌گیری یا دست‌کاری نور است به عنوان یک افزاره اپتوالکترونیکی¹ شناخته می‌شود. مطالعه چنین افزاره‌هایی و رفتار آن‌ها منجر به پیدایش زمینه اپتوالکترونیک شده است.

¹ optoelectronics

آشکارسازهای نوری بسته به توانایی آشکارسازی آنها برای بازه‌ی مشخصی از طیف نور دسته‌بندی می‌شوند. آشکارسازهای نوری مبتنی بر سیلیکون توانایی تشخیص تمام طیف نور مرئی را دارند؛ در صورتی که با آشکارسازهای مبتنی بر سیلیکون و ژرمانیم آشکارسازی از ابتدای طیف مادون قرمز، که به عنوان منطقه طول موج کوتاه مادون قرمز (SWIR) نیز شناخته می‌شود، امکان‌پذیر است [2]. توجه اصلی این تحقیق طیف مادون قرمز نور است. طیف مادون قرمز بخشی از طیف نور است که تمام امواج الکترومغناطیسی با طول موج بلندتر از مرئی و کوتاه‌تر از میلی‌متر را شامل می‌شود؛ که در شکل 1-1 نیز نمایش داده شده است.



شکل: 1-1 طیف نور

طیف مادون قرمز به بازه‌های کوچک‌تری قابل تقسیم است. پیشنهادهای زیادی برای تقسیم ناحیه مادون قرمز به بازه‌های کوچک‌تر شده است؛ ولی هنوز هم بین نویسندگان اختلاف نظر وجود دارد. تقسیم‌بندی در نظر گرفته شده در این تحقیق، در جدول 1-1 آمده است.

در سال‌های اخیر آشکارسازهای مادون قرمز در محدوده‌ی طول موج 2-10 میکرومتر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. دلیل علاقه بسیار به این بخش از طیف نور در ابتدا مقاصد نظامی بوده است؛ به مرور زمان کاربردهای غیرنظامی این نوع آشکارسازها نیز شناخته شده‌اند. از کاربردهای آن می‌توان به قابلیت تبادل اطلاعات از راه بیسیم، طیف‌بینی در مطالعه‌ی

ترکیبات شیمیایی، ابزارهای دید در شب، دمانگاری، عکاسی مادون قرمز و کاربرد تشخیصی مادون قرمز در پزشکی مثل توموگرافی و مامایی می‌توان نام برد [1].

محدوده‌ی MWIR در اواسط بازه‌ی طول موج‌های مادون قرمز (ناحیه 3-5 میکرومتر) قرار دارد و دارای گاف انرژی¹ مناسب برای شناسایی گازهای آلاینده و سمی و ارتباطات نوری فضای آزاد در هر دو موقعیت‌های نظامی و غیرنظامی است [3].

محدوده‌ی LWIR (8-14 میکرومتر)، محدوده‌ی پرکاربرد در تصویربرداری حرارتی یا ترموگرافی² است که دارای کاربردهای بسیاری در صنعت می‌باشد. در این محدوده از مواد دسته VI-II، استفاده می‌شود [4].

جدول 1-1: تقسیم بندی ناحیه مادون قرمز به بخش‌های کوچک

Spectral Region	Range
Near Infrared (NIR)	0.78-1 μ m
Short wavelength IR (SWIR)	1-3 μ m
Medium wavelength IR (MWIR)	3-8 μ m
Long wavelength IR (LWIR)	8-14 μ m
Very long wavelength IR (VLWIR)	14-1000 μ m

2-1 مواد دسته VI-II

مواد دسته VI-II توجه زیادی را در طول سال‌ها به خود جلب کرده‌اند. آن‌ها توانایی رفتار به عنوان یک ماده با گاف انرژی وسیع (1.5eV-3.5eV) و همچنین به عنوان یک ماده با گاف انرژی باریک (0eV-1.5eV) را دارند. مواد با گاف انرژی وسیع شامل؛ روی سلنید (ZnSe)، روی تلوراید (ZnTe)، کادمیوم روی تلوراید (CdZnTe) و سولفید روی (ZnS) می‌باشد و مواد با گاف انرژی باریک عبارتند از؛ جیوه کادمیوم تلوراید (HgCdTe) و جیوه روی تلوراید (HgZnTe) [5].

¹ Band gap

² Thermography

3-1 جیوه کادمیوم تلوراید HgCdTe

HgCdTe به عنوان ماده استاندارد برای تشخیص تابش مادون قرمز به خصوص در محدوده LWIR در طیف وسیعی از دماها شناخته شده است. آلیاژ شبه دوتایی نتیجه تلاش برای ایجاد یک نیمه‌هادی با گاف انرژی مستقیم است که توانایی استفاده در ابزار مادون قرمز طیف بلند را داشته باشند. بیشتر یافته‌ها به منظور رفع نیازهای نظامی ایجاد گردید؛ ولی از دهه گذشته قرن بیستم میلادی کاربردهای غیرنظامی آن هم به صورت مستمر در حال افزایش است [6].

ویژگی مهمی که $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ را تبدیل به یک ماده ایده‌آل برای تشخیص در محدوده‌ی مادون قرمز می‌کند، گاف انرژی قابل تغییر آن است، که توسط غلظت مولی x و دما T قابل تنظیم است.

4-1 دسته‌بندی آشکارسازهای نوری

آشکارسازهای نوری را به روش‌های گوناگون دسته‌بندی می‌کنند. در ادامه چند نوع از آشکارسازهای نوری را معرفی می‌کنیم.

1-4-1 مقاومت‌های نوری

رسانای نوری، نخستین آشکارساز نوری کوانتومی بوده است. این رسانا اولین بار توسط اسمیت¹ در سلنیوم کشف شد [7]. مقاومت نوری یک افزاره است که مقاومت آن در برابر افزایش شدت نور تابشی کاهش می‌یابد؛ این افزاره به عنوان یک مقاومت وابسته به نور (LDR^2) شناخته

¹ Smith

² Light dependent resistor

شده است. رسانای نوری در صورتی که مبتنی بر تحریک حامل‌ها از تراز ظرفیت به تراز هدایت باشند، ذاتی و چنانچه بر اساس تحریک حامل‌ها بین تراز ناخالصی و تراز ظرفیت یا تراز هدایت باشند، غیرذاتی نامیده می‌شوند [8]. هنگامی که نور با یک انرژی خاص بر روی افزاره می‌تابد، می‌تواند یک الکترون را از تراز ظرفیت به تراز هدایت منتقل کند. الکترون آزاد شده سبب افزایش هدایت الکتروسیسته می‌گردد؛ در نتیجه مقاومت افزاره کاهش می‌یابد. در ابتدا مقاومت‌های نوری از کادمیوم سولفید (CdS) ساخته می‌شدند، که تولید این نوع مقاومت‌های نوری بسیار مقرون به صرفه بود.

1-4-2 دیود PN

در یک دیود نوری PN زمانی یک منبع نور به آن می‌تابد؛ اگر انرژی فوتون بیشتر از گاف افزاره مورد نظر باشد، جفت الکترون حفره (EHP^1) تولید خواهد شد. این فرایند تولید در طول کل ساختار از جمله ناحیه تخلیه‌ی محل اتصال PN رخ می‌دهد. تابش نور ایجاد جفت الکترون و حفره می‌کند؛ بنابراین اگر در منطقه تخلیه میدان الکتریکی داخلی به اندازه کافی بالا باشد، می‌تواند جفت الکترون و حفره را از هم جدا کند. در غیر این صورت آن‌ها با هم باز ترکیب می‌شوند و با وجود داشتن تولید، جریان ناشی از نور نخواهیم داشت.

بنابراین حتی اگر هر فوتون² ایجاد الکترون و حفره کند (100٪ بازده کوانتومی)، هیچ یک از الکترون‌های تولید شده به اتصال خارجی نخواهند رسید. با افزایش غلظت ناخالصی در طرف P و N میدان الکتریکی داخلی بیشتری ایجاد می‌شود، اما عرض ناحیه فضای بار³ کاهش می‌یابد.

¹ Electron-hole pairs

² photon

³ Space charge region

عملکرد پیوند p-n در بایاس معکوس، منجر به افزایش منطقه فضای بار و همچنین بزرگ شدن میدان الکتریکی می‌شود. این حالت به عنوان حالت حساس به نور شناخته شده است. در حالت حساس به نور، همان‌طور که قبلاً بحث شد، برای به حداکثر رساندن تولید جفت الکترون حفره، ما باید منطقه حساس به نور را افزایش دهیم. یک راه ابتکاری برای رسیدن به هدف قرار دادن یک منطقه ذاتی بین P و N است که این روش برای کنترل پهنای ناحیه‌ی فضای بار مناسب است. این ساختار را در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.

3-4-1 دیود PIN

دیود نوری PIN یکی از متداول‌ترین آشکارسازهای نوری است. اختراع پیوند PIN نتیجه‌ی توسعه‌ی یک پیوند PN است. ویژگی اصلی دیود نوری PIN وجود لایه ذاتی ضخیم جاسازی شده در پیوند PN است. میزان ناخالصی در این لایه معمولاً کمتر از 10^{15}cm^{-3} است. برای اطمینان از جذب کامل نور در این ناحیه‌ی میدان شدید، ضخامت این ناحیه باید بزرگتر از طول جذب ($1/\alpha$) باشد، ولی به دلیل ملاحظات سرعت نباید خیلی بزرگتر از آن باشد [8].

ناحیه میانی بزرگ تحت شرایط بایاس معکوس تخلیه است، که باعث بزرگ شدن ناحیه حساس به نور شده که در آن با تابش نور تولید صورت می‌گیرد. در ساختار PN متداول افزایش غلظت ناخالصی ناحیه‌ی N و P باعث کاهش ناحیه‌ی فضای بار می‌شود؛ ولی در یک ساختار PIN به هر مقدار که بخواهیم می‌توانیم غلظت ناخالصی را افزایش دهیم، ناحیه ذاتی تخلیه باقی خواهد ماند حتی در صورتی که دو منطقه اطراف تزریق ناخالصی بالا داشته باشند؛ به همین دلیل همزمان می‌تواند دارای ناحیه حساس به نور بزرگ و میدان الکتریکی بزرگ که کمک به جدا