

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشکده علوم

گروه فیزیک

(فوتونیک)

بررسی عددی تاثیر موقعیت پالس های نوری تابیده شده بر سطح آشکارساز نوری با اعمال

ولتاژ

از:

عاطفه حبیب پورمقدم

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر حمید رضا مشایخی

دی ماه ۸۹

تقدیم به قلب رنج‌دیده، دستان خسته و قامت بلند مادرم  
تقدیم به همه مادرانی که پدران و جوانمردانه فرزندان خود را زیر بال و پر  
می‌گیرند.

## به نام خداوند بخشنده ی مهربان

در اینجا بر خود واجب می دانم که از استاد بزرگوار و محترم جناب آقای دکتر مشایخی کمال تشکر و قدردانی را بجا آورم که برای من بهترین الگوی علمی و رفتاری بوده و در راه رشد و بالندگی من از هیچ حمایت و محبتی رویگردان نشدند. از مادر مهربان، فداکار و عزیزم تشکر ویژه مینمایم که تمام زندگی خود را مدیون جانفشانی ها و از خودگذشتگی های بی حسابشان هستم.

از خانواده ی عزیزم که از جایگاه ویژه ای در زندگی من برخوردارند، سپاسگذاری مینمایم. از تمام دوستان عزیز و گرامی ام که در تمام شادی ها، غم ها و خستگی هایم شریک بودند، تشکر می کنم و از درگاه خداوند متعال شادی و پیشرفت آن ها را طلب می کنم.

در نهایت از خداوند برای همه ی کسانی که در راه پیشرفتم لطف و بزرگی روا داشتند عزت و سربلندی را خواهانم.

## فهرست مطالب

| صفحه    | عنوان   |
|---------|---|
| د.....  | چکیده فارسی .....   |
| ذ.....  | چکیده انگلیسی.....  |
| ۱.....  | مقدمه.....  |
| ۴.....  | فصل اول: آشنایی با آشکارسازهای نوری و نحوه ی عملکرد آن ها.....          |
| ۵.....  | ۱-۱: آشکارسازها.....  |
| ۷.....  | ۲-۱: فوتورساناها.....   |
| ۹.....  | ۳-۱: فوتودیود های <b>PIN</b> .....                                      |
| ۱۱..... | ۴-۱: آشکارسازهای بهمنی.....   |
| ۱۲..... | ۵-۱: فوتوترانزیستورها.....  |
| ۱۴..... | ۶-۱: فوتودیودهای سدی مدوله شده.....                                     |
| ۱۶..... | ۷-۱: فوتودیودهای فلز-نیمه رسانا-فلز.....                                |
| ۱۸..... | ۸-۱: آشکارساز فلز-نیمه رسانا-فلز پس دریچه دار شده ( <b>BGMSM</b> )..... |
| ۲۰..... | فصل دوم: رفتار فوتوحامل ها در نیمه رسانا.....                           |
| ۲۱..... | ۱-۲: تولید و بازترکیب حامل ها در نیمه رسانا.....                        |
| ۲۲..... | ۲-۲: انتقال حامل ها در قطعه ی نیمه رسانا.....                           |
| ۲۲..... | ۱-۲-۲: پخش حامل ها.....   |
| ۲۳..... | ۲-۲-۲: چگالی جریان پخش.....   |
| ۲۵..... | ۳-۲-۲: سوق حامل ها.....   |
| ۲۸..... | ۳-۲: معادلات پیوستگی الکترون و حفره.....                                |

|    |       |   |
|----|-------|---|
| ۲۹ | ..... | ۴-۲: معادلات پخش وابسته به زمان   |
| ۳۱ | ..... | ۵-۲: انتقال امپولار   |
| ۳۲ | ..... | ۶-۲: معادله انتقال امپولار  |
| ۳۴ | ..... | ۷-۲: مدل سازی   |
| ۳۶ | ..... | <b>فصل سوم: نتایج تجربی</b>   |
| ۳۷ | ..... | ۱-۳: مروری بر آشکارساز فلز-نیمه رسانا-فلز پس دریچه دار شده                            |
| ۳۸ | ..... | ۲-۳: مشخصه ی تجربی جریان-ولتاژ (I-V) قطعه ی MSM تحت تابش                              |
| ۳۹ | ..... | ۳-۳: پاسخ زمانی آشکارساز MSM به یک پالس اپتیکی  |
| ۳۹ | ..... | ۴-۳: پهنای زمانی پاسخ آشکارساز MSM  |
| ۴۰ | ..... | ۵-۳: عمق نفوذ پالس اپتیکی به داخل ناحیه ی ذاتی  |
| ۴۱ | ..... | ۶-۳: وابستگی پاسخ زمانی قطعه به موقعیت پالس اپتیکی در شرایط تعادل                     |
| ۴۲ | ..... | ۷-۳: پاسخ زمانی قطعه به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در حالت شناوری و اعمال ولتاژ |
| ۴۴ | ..... | <b>فصل چهارم: حل معادلات انتقال با استفاده از روش تبدیل گسسته فوریه (DFT)</b>         |
| ۴۵ | ..... | ۱-۴: شبیه سازی عددی پاسخ آشکارساز MSM   |
| ۴۵ | ..... | ۲-۴: حل عددی معادلات انتقال حامل ها با استفاده از روش گسسته ی تبدیل فوریه (DFT)       |
| ۴۶ | ..... | ۳-۴: روش شبیه سازی معادلات انتقال حامل ها با استفاده از روش گسسته ی تبدیل فوریه (DFT) |
| ۵۰ | ..... | <b>فصل پنجم: نتایج شبیه سازی</b>  |
| ۵۱ | ..... | ۱-۵: نتایج شبیه سازی رفتار حامل ها در دو بعد  |
| ۵۲ | ..... | ۲-۵: مدل سازی   |
| ۵۳ | ..... | ۳-۵: شبیه سازی عددی پاسخ آشکارساز نوری با استفاده از دستور pde                        |

- ۴-۵: شبیه سازی عددی پاسخ آشکارساز نوری به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط تعادل  
با استفاده از حل عددی معادله ی انتقال امیبولار با دستور **pde** ..... ۵۳
- ۵-۵: شبیه سازی عددی تاثیر موقعیت پالس اپتیکی بر پاسخ زمانی آشکارساز **MSM** در شرایط تعادل  
با استفاده از روش تبدیل گسسته فوریه (**DFT**) ..... ۵۵
- ۶-۵: شبیه سازی عددی پاسخ آشکارساز نوری به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط استاتیک  
(اعمال ولتاژ) با استفاده از حل عددی معادله ی انتقال امیبولار با دستور **pde** ..... ۵۷
- ۷-۵: شبیه سازی عددی پاسخ آشکارساز به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط استاتیک  
با استفاده از روش **DFT** ..... ۶۰
- ۸-۵: شبیه سازی عددی وابستگی پهنای زمانی پاسخ قطعه به نیمه عمر حامل ها با استفاده از روش **DFT** ..... ۶۲
- فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد برای ادامه ی کار ..... ۶۵
- منابع و مأخذ ..... ۶۸

## فهرست شکل ها

| عنوان   | صفحه |
|---|------|
| شکل ۱-۱: مکانیزم های مختلف آشکارسازی فوتون: (الف) جذب ذاتی ( $h\nu \geq \epsilon_g$ ) (ب) جذب غیر ذاتی.   |      |
| (ج) جذب غیرذاتی بین زیر ترازهای چاه کوانتومی.....   | ۷    |
| شکل ۲-۱: شماتیکی از یک فوتورسانای InGaAs/InP با اتصالات انگشتی.....   | ۸    |
| شکل ۳-۱: (الف) منحنی نوار انرژی یک فوتوترانزیستور دو قطبی در شرایط اعمال ولتاژ. (ب) نمایش یک بعدی مولفه های جریان.....                                  | ۱۳   |
| شکل ۴-۱: شماتیکی از یک فوتودیود سدی مدوله شده همراه با منحنی نوار انرژی و نحوه ی توزیع بار.....   | ۱۵   |
| شکل ۵-۱: تغییرات منحنی نوار انرژی فوتودیود سدی مدوله شده با تغییر ولتاژ.....  | ۱۵   |
| شکل ۶-۱: (الف) شماتیکی از یک فوتودیود MSM انگشتی (ب) منحنی نوار انرژی فوتودیود MSM در شرایط اعمال ولتاژ.....  | ۱۷   |
| شکل ۷-۱: مدار معادل یک فوتودیود MSM تحت تابش.....   | ۱۷   |
| شکل ۱-۲: شماتیکی از فرآیند پخش پالس الکترون.....  | ۲۳   |
| شکل ۲-۲: چگالی الکترون ها در فضای مکان.....   | ۲۴   |
| شکل ۳-۲: سوق حامل ها در یک تیغه ی نیمه رسانا.....   | ۲۷   |
| شکل ۴-۲: خلق میدان الکتریکی داخلی در لحظه ای که الکترون ها و حفره های اضافی تمایل به جدا شدن از یکدیگر دارند.....                                       | ۳۲   |
| شکل ۱-۳: شماتیکی از یک آشکارساز MSM همراه باموقعیت پالس اپتیکی بر روی ناحیه ی ذاتی آن..   | ۳۷   |
| شکل ۲-۳: مشخصه ی جریان-ولتاژ آشکارساز MSM.....  | ۳۸   |
| شکل ۳-۳: خطوط میدان الکتریکی بین دو اتصال اهمی مجاور در یک آشکارساز MSM، با فرض اینکه عمق نفوذ $\delta$ بسیار کوچکتر از فاصله ی بین دو اتصال L است..... | ۴۱   |



شکل ۳-۴: پاسخ قطعه به صورت تابعی از موقعیت پالس لیزری در حالت شناوری و ولتاژ صفر

۴۲.....(حالت تعادل).....

شکل ۳-۵: منحنی بیشینه ی پاسخ آشکارساز بر حسب موقعیت پالس اپتیکی نسبت به مرکز ناحیه ی ذاتی در

شرایط شناوری و اعمال ولتاژ ۵ و ۱۰ ولت..... ۴۳.....

شکل ۵-۱: فرآیند پخش حامل ها در دو بعد در ناحیه ی ذاتی آشکارساز MSM به ابعاد  $10 \times 10 \mu m^2$ ..... ۵۱.....

شکل ۵-۲: رفتار حامل ها در ناحیه ی ذاتی آشکارساز MSM به ابعاد  $13 \times 13 \mu m^2$  در شرایط

اعمال ولتاژ..... ۵۲.....

شکل ۳-۵: توزیع حامل های اضافی بار در ناحیه ی ذاتی آشکارساز MSM در لحظه های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و

۳۰۰ پیکوثانیه در شرایط تعادل..... ۵۳.....

شکل ۵-۴: جریان پاسخ قطعه در شرایط تعادل. موقعیت پالس اپتیکی در ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ (مرکز ناحیه ی فعال)،

۱۰-، ۲۰- و ۳۰- میکرومتری ناحیه ی ذاتی قرار دارد..... ۵۴.....

شکل ۵-۵: بیشینه ی پاسخ قطعه به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط تعادل..... ۵۵.....

شکل ۵-۶: توزیع چگالی حامل های اضافی بار در ناحیه ی فعال آشکارساز در شرایط تعادل در زمان های

۰، ۴۰ و ۸۰ پیکوثانیه. موقعیت مکانی پالس اپتیکی بترتیب (از راست به چپ) در ۰، ۲۰، (مرکز ناحیه ی ذاتی) و

۲۰- میکرومتر نسبت به مرکز ناحیه ی ذاتی قرار دارد..... ۵۶.....

شکل ۵-۷: جریان پاسخ قطعه در شرایط تعادل. موقعیت پالس اپتیکی در ۰، ۲۰، (مرکز ناحیه ی فعال) و ۲۰-

میکرومتری ناحیه ی ذاتی قرار دارد..... ۵۶.....

شکل ۵-۸: بیشینه ی پاسخ قطعه به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط تعادل..... ۵۷.....

شکل ۵-۹: چگالی حامل های اضافی بار، در زمان های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ پیکوثانیه در ناحیه ی ذاتی به طول

$40 \mu m$  با اعمال ولتاژ ۱۰ ولت..... ۵۸.....

شکل ۵-۸: پاسخ زمانی آشکارساز به پالس اپتیکی هنگامی که پالس اپتیکی در موقعیت های مکانی ۰، ۲۰، ۴۰،

۰ (مرکز ناحیه ی ذاتی)، ۲۰- و ۴۰- میکرومتری نسبت به مرکز ناحیه ی ذاتی قرار دارد..... ۵۹.....

- شکل ۵-۱۱: بیشینه ی پاسخ آشکارساز به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط استاتیک.....۵۹
- شکل ۵-۱۲: توزیع فوتو الکترون ها (شکل سمت چپ) و فوتوحفره ها (شکل سمت راست) در زمان های ۰، ۳۰ و ۶۰ میکوثانیه در ناحیه ی ذاتی آشکارساز MSM، در ولتاژ ۱۰ ولت.....۶۰
- شکل ۵-۱۳: فوتوجریان الکترون ها، حفره ها و جریان کل قطعه در ولتاژ ۱۰ ولت. پالس اپتیکی بترتیب در موقعیت های مکانی ۲۰ (شکل ۵-۱۳-الف)، ۰ (شکل ۵-۱۳-ب) و ۲۰- میکرومتری (شکل ۵-۱۳-ج) مرکز ناحیه ی ذاتی آشکارساز قرار دارد.....۶۱
- شکل ۵-۱۴: بیشینه ی پاسخ آشکارساز به صورت تابعی از موقعیت پالس اپتیکی در شرایط استاتیک.....۶۲
- شکل ۵-۱۵: فوتوجریان الکترون، حفره و فوتوجریان کل یک آشکارساز MSM. فاصله ی دو الکتروود مجاور برابر با  $6 \mu\text{m}$  و ولتاژ اعمال شده به قطعه  $10 \text{ V}$  است.....۶۳
- شکل ۵-۱۶: منحنی فوتوجریان حفره در یک آشکارساز MSM به ازای مقادیر مختلف نیمه عمر برابر با ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ پیکو ثانیه. فاصله ی دو الکتروود مجاور برابر با  $6 \mu\text{m}$  و ولتاژ اعمال شده به قطعه  $10 \text{ V}$ .....۶۳

## چکیده

بررسی عددی تاثیر موقعیت پالس های نوری تاییده شده بر سطح آشکارساز نوری با اعمال ولتاژ

عاطفه حبیب پورمقدم

آشکارساز نوری فلز-نیمه رسانا-فلز (MSM) جذابیت فراوانی برای کاربرد در سیستم های مخابراتی اپتوالکترونیکی یافته است. آزمایشات نشان می دهد که پاسخ زمانی آشکارساز (MSM) با تغییر موقعیت پالس اپتیکی بر روی ناحیه ی فعال تغییر می کند. در حالت تعادل، پاسخ قطعه تابع سینوسی از موقعیت پالس اپتیکی است. در حالت استاتیک (اعمال ولتاژ) هنگامی که موقعیت پالس اپتیکی در ناحیه ی آندی قرار دارد، آشکارساز به ولتاژ اعمال شده قویا پاسخ می دهد. هدف این پایان نامه بررسی وابستگی پاسخ زمانی آشکارساز (MSM) به موقعیت پالس اپتیکی بر روی ناحیه ی فعال، در شرایط تعادل و استاتیک است. برای توصیف رفتار فوتوحامل ها در ناحیه ی فعال از معادله انتقال امپیلار و معادلات پیوستگی وابسته به زمان حامل ها استفاده شده است. این معادلات با استفاده از کد نرم افزار متلب و روش تبدیل گسسته فوریه (DFT) حل عددی شده اند.

کلیدواژه: آشکارساز نوری فلز-نیمه رسانا-فلز (MSM)، پاسخ زمانی، حالت تعادل، حالت استاتیک، معادله انتقال امپیلار، معادلات انتقال وابسته به زمان حامل ها، روش تبدیل گسسته فوریه (DFT).

# مقدمه

در گذشته توسعه ی تکنولوژی نیمه رساناها و ساخت قطعات جدید نیمه رسانا، بطور سنتی با روش های آزمایشگاهی صورت می گرفت [۱]. با رشد مدارهای مجتمع، روش های آزمایشگاهی قدیمی وقت گیر و گران قیمت بودند. به این ترتیب روش های شبیه سازی عددی در ساخت و توسعه ی قطعات نیمه رسانا گسترش یافتند. این روشها از نظر اقتصادی به صرفه و در دسترس هستند.

یکی از قطعات اپتوالکترونیکی مهم و کاربردی در مدارات مجتمع آشکارساز نوری<sup>۱</sup> می باشد. عملکرد آشکارساز با جریان تاریک<sup>۲</sup>، بازده کوانتومی<sup>۳</sup>، پهنای باند<sup>۴</sup> (یا سرعت) و بازه ی عملکرد طیفی<sup>۵</sup> سنجیده می شود. اساسا دو نوع آشکارساز وجود دارد: فوتورساناها<sup>۶</sup> و فوتودیودها<sup>۷</sup>.

ساده ترین شکل آشکارسازهای نیمه رسانا، فوتورساناها هستند که از یک ماده ی نیمه رسانا با مقاومت پایین با دو اتصال اهمی ساخته شده اند. فوتورساناها دارای عملکرد کند اما بازده داخلی هستند [۲].

دسته دیگر آشکارسازهای نیمه رسانا، فوتودیودها هستند که از سرعت بالا برخوردار می باشند [۲]. فوتودیودها شامل یک یا چند پیوند p-n هستند. عملکرد این آشکارسازها در بایاس معکوس است. یکی از انواع آشکارسازهای فوتودیود آشکارساز فلز-نیمه رسانا-فلز (MSM)<sup>۸</sup> است. این آشکارساز کاربرد فراوانی در سیستم های مخابرات نوری دارد [۳]. آشکارساز MSM از دو اتصال شاتکی<sup>۹</sup> بر روی یک لایه ی نیمه رسانای ذاتی (ناحیه ی فعال) تشکیل شده است. این دو اتصال ممکن است ساده یعنی به شکل دو الکتروود موازی<sup>۱۰</sup> یا به شکل انگشتی<sup>۱۱</sup> [۴] یا دایروی<sup>۱۲</sup> [۵] طراحی شده باشند.

---

1 . Photodetector

2 . Dark Current

3 . Quantum Efficiency

4 . Bandwidth

5 . Spectral Rang

6 . Photoconductors

7 . Photodiodes

1. Metal-Semiconductor-Metal Photodetector

9 . Schottky Contact

10 . Parallel

11 . Finger

12 . Circular

طی آزمایشاتی که بر روی پاسخ آشکارساز MSM صورت گرفت مشاهده گردید که پاسخ آشکارساز به موقعیت پالس اپتیکی بر روی ناحیه ی فعال بستگی دارد [۶]. در حالت تعادل، پاسخ قطعه تابع سینوسی از موقعیت پالس اپتیکی است. این ویژگی رفتاری سبب می شود که بتوان از آشکارساز به عنوان یک وسیله ی اندازه گیری تعیین موقعیت در ابعاد میکرو استفاده کرد. در حالت استاتیک (اعمال ولتاژ) قطعه رفتار متفاوتی را نسبت به حالت تعادل از خود نشان می دهد. بطوریکه در حالت استاتیک، پاسخ آشکارساز تنها با نزدیک شدن موقعیت پالس اپتیکی به آند قابل توجه می شود.

در این پایان نامه هدف بررسی وابستگی پاسخ زمانی آشکارساز MSM به موقعیت پالس اپتیکی بر روی ناحیه ی فعال، در شرایط تعادل و استاتیک است. در فصل اول این پایان نامه انواع شاخص آشکارسازهای نوری معرفی می شود. برای توصیف رفتار فوتوحامل ها در قطعه ی نیمه رسانا از معادله انتقال امبپولار<sup>۱</sup> و معادلات انتقال<sup>۲</sup> وابسته به زمان حامل ها استفاده شده است. در فصل دوم رفتار فوتوحامل ها در قطعه ی نیمه رسانا بطور کامل بحث می شود. نتایج تجربی وابستگی پاسخ زمانی آشکارساز MSM به موقعیت پالس اپتیکی در شرایط تعادل و استاتیک در فصل سوم مطرح می گردد. حل عددی معادله انتقال امبپولار<sup>۳</sup> و معادلات انتقال<sup>۴</sup> وابسته به زمان حامل ها با استفاده از برنامه ی متلب و روش تبدیل گسسته فوریه صورت گرفته است که در فصل چهارم شیوه ی حل این معادلات به روش تبدیل گسسته فوریه بیان می شود. در نهایت نتایج شبیه سازی وابستگی پاسخ آشکارساز به موقعیت پالس اپتیکی در حالت تعادل و استاتیک و وابستگی پهنای زمانی پاسخ به نیمه عمر حامل ها در فصل پنجم بیان شده و با نتایج تجربی مقایسه می گردد.

---

1 . Ambipolar theory  
2 . Transport Equations  
3 . Ambipolar theory  
4 . Transport Equations

## فصل ۱

آشنایی با آشکارسازهای نوری و نحوه ی

عملکرد آن ها

آشکارساز نوری یک قطعه ی اپتوالکترونی است که انرژی نورانی را جذب کرده و آن را به انرژی الکتریکی به صورت یک فوتوجریان تبدیل می کند. در فرآیند فوتوآشکارسازی، عموماً ۳ مرحله وجود دارد:

۱. جذب انرژی نورانی و تولید حامل ها.

۲. انتقال فوتوحامل های تولید شده در طول ناحیه ی جذب یا انتقال و یا ناحیه ای که هر دو ویژگی را دارد، همراه با بازدهی یا بدون بازدهی.

۳. جمع آوری حامل ها و تولید فوتوجریان که در مدار خارجی جریان می یابد.

آشکارسازها بطور وسیع در سیستم های مخابراتی اپتیکی مورد استفاده قرار می گیرند. این قطعات جهت آشکارسازی سیگنال های اپتیکی در گستره های طیفی وسیع بکار برده می شوند. پالس های اپتیکی از طریق فیبرهای نوری انتقال می یابند. آشکارسازها این پالس های اپتیکی را دریافت کرده و آن ها را به پالس های الکتریکی تبدیل می کنند. در مرحله ی بعد، این پالس ها با کمی اتلاف توسط تلفن، کامپیوتر و یا دیگر گیرنده ها مورد استفاده قرار می گیرد. آنچه که در بکارگیری یک آشکارساز اهمیت دارد حساسیت بالا، نویز کم، پهنای باند وسیع، قابل اطمینان و ارزان بودن است. یکی از کاربردهای مرسوم آشکارسازهای نوری، مانیتور کردن هدایت کننده های لیزری است. به این ترتیب که یک آشکارساز با قابلیت آشکارسازی یک گستره ی طیفی وسیع را نزدیک به یک منبع لیزر هدایت کننده قرار می دهند. فوتو جریان تولید شده در آشکارساز وارد مدار می شود تا خروجی لیزر را به رقم نوسانات دمایی در یک سطح تقریباً ثابت نگه دارد. در کاربردهای مخابراتی، غالباً آشکارسازها با سرعت بالا مورد نیاز هستند. در کاربردهای متعدد دیگر بازدهی بالا مورد توجه است. پهنای باند و بازدهی از ویژگی های فیزیکی در تضاد هستند. در نهایت انتخاب نوع آشکارساز به کاربرد آن را بستگی دارد.

آشکارسازها عمدتاً سه نوع هستند:

۱. فوتورساناها

۲. دیود های PIN



### ۳. فوتودیودهای بهمنی<sup>۱</sup>

فوتورساناها و فوتودیودهای بهمنی دارای بازده داخلی هستند. آشکارسازهای PIN دارای بازده داخلی نیستند اما غالباً دارای پهنای باند وسیع هستند.

از آشکارسازهای خاص می توان فوتوترانزیستورها<sup>۲</sup>، فوتودیود سد مدوله شده<sup>۳</sup> و فلز-نیمه رسانا-فلز را نام برد.

آشکارسازها همچنین به دو نوع ذاتی<sup>۴</sup> و غیر ذاتی<sup>۵</sup> تقسیم می شوند. برانگیختگی فوتونی جفت های الکترون-حفره را تولید می کند که در فوتوجریان شرکت می کنند. یک آشکارساز ذاتی معمولاً طول موج های نزدیک به نوار گاف نیمه رسانا را آشکارسازی می کند درحالیکه یک آشکارساز غیرذاتی، نور با انرژی کمتر از نوار گاف نیمه رسانا را آشکارسازی می کند.

در این قطعات گذار متناسب با جذب فوتون ها است که خود به عمق سطوح ناخالصی و سطوح نقصی در نوار گاف نیمه رسانا بستگی دارد. جذب فوتون معمولاً الکترون را از نوار ظرفیت به نوار هدایت برمی انگیزد. گذار الکترون به نوار هدایت یک حفره در نوار ظرفیت بجا می گذارد. الکترون و حفره به ترتیب در نوارهای هدایت و ظرفیت در فوتوجریان شرکت می کنند. نوع دیگری از نیمه رساناهای غیرذاتی وجود دارند که در آن ها گذار بین زیر تراز های انرژی در یک چاه کوانتومی صورت می گیرد. از آنجایی که اختلاف انرژی بین این زیر ترازها غالباً کم و از مرتبه ی  $100 \text{ meV}$  است این قطعات برای آشکارسازی امواج مادون قرمز بکار می روند. ولیکن محدودیت هایی در ارتباط با قطبش نوری که می تواند جذب شود وجود دارد. فرآیند های مختلف ذاتی و غیر ذاتی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

---

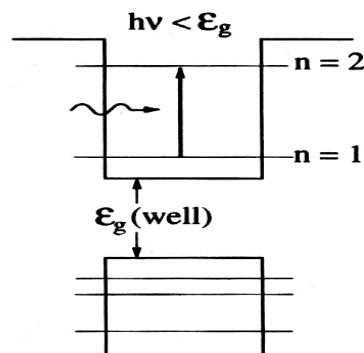
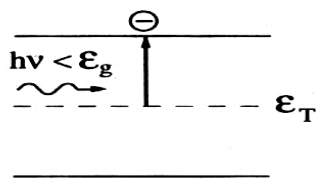
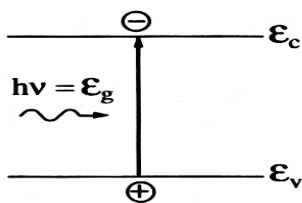
1. Avalanche Photodiodes

2. Phototransistors

3. Modulated Barrier Photodiode

4. Intrinsic

5. Extrinsic



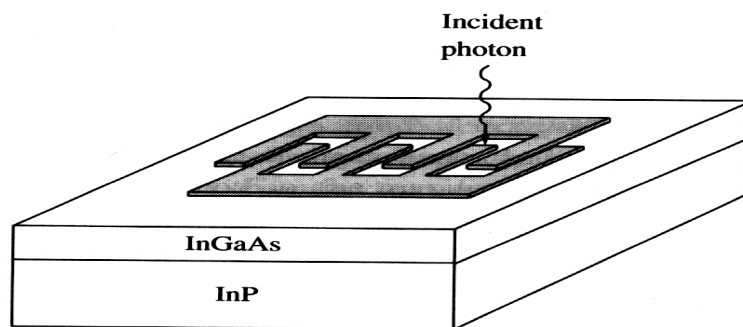
شکل ۱-۱: مکانیزم های آشکارسازی فوتون: (الف) جذب ذاتی ( $h\nu \geq \epsilon_g$ ) (ب) جذب غیر ذاتی. (ج) جذب غیرذاتی بین زیر ترازهای چاه کوانتومی.

## فوتورساناها

۲-۱

می توان گفت که فوتورساناها ساده ترین نوع آشکارسازهای نوری بوده که دارای مکانیزم بازده داخلی<sup>۱</sup> هستند. این دسته از آشکارسازها در زمینه های مختلفی مانند نمونه برداری سیگنال با سرعت بالا<sup>۲</sup>، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰] و [۱۱] آشکارسازی تابش<sup>۳</sup> [۱۲]، [۱۳] و سوئیچ گر توان-پالس با ولتاژ بالا<sup>۴</sup> مورد استفاده قرار می گیرند [۴]. فوتورساناها به روشنی، بیانگر محدودیت بازده-پهنای باند<sup>۵</sup> هستند. عملکرد این دسته از آشکارسازها بر مبنای افزایش رسانش ناحیه ای معین با برانگیختگی برانگیختگی فوتونی قرار دارد. فوتوالکترون ها و فوتوحفره های تولید شده توسط ترمینال های مخالف جمع آوری شده و به فوتو جریان می انجامد. شماتیکی از یک فوتورسانا بطور ساده در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

1. Internal Gain Mechanism
2. High-Speed Signal Sampling
3. Radiation Detection
4. High-Voltage Pulse-Power Switching
5. Gain-Bandwidth Limitation



شکل ۱-۲: شماتیکی از یک فوتورسانای InGaAs/InP با اتصالات انگشتی.

ناحیه ی فعال آشکارساز با رشد رونشستی یا به روش کاشت یونی، بر روی زیرلایه ای با مقاومت بالا شکل می گیرد. در این قطعه اتصالات اهمی با تبخیر فلزات و فلزنشانی<sup>۱</sup> شکل می گیرند. ضخامت ناحیه ی فعال باید به قدری بزرگ باشد که بتواند کسر عمده ای از نور فرودی را جذب کند و در عین حال به اندازه ای کوچک باشد که جریان نویز ناشی از مقاومت پایین ناحیه ی نیمه رسانا را کاهش بدهد. فاصله ی بین اتصالات اهمی (به شکل خطی یا انگشتی) یک پارامتر مهم در عملکرد این قطعه است. به این اتصالات بایاس مناسب جهت جمع آوری فوتو حامل ها اعمال می شود. مثلا در آشکارساز فوتورسانا InGaAs با ناحیه ی ذاتی به ضخامت  $2 \mu\text{m}$ ، بازده کوانتومی در حدود  $90\% - 80\%$  است. برای افزایش بازده کوانتومی از یک پوشش ضد بازتابش و یا از یک لایه با پنجره ی نوار گاف پهن تر، بر روی سطح ناحیه ی فعال استفاده می کنند.

آشکارسازهای فوتورسانا بسته به نوع ماده ی آشکارسازی، می توانند طیف وسیعی از تابش الکترومغناطیسی از مادون قرمز تا فرابنفش را آشکارسازی کنند. از آشکارساز مادون قرمز ژرمانیم که در آن گالیم با چگالی  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  تزریق شده است (Ge:Ga) به عنوان حساسگر جهت آشکارسازی تابش های خیلی ضعیف استفاده می شوند [۱۵] و [۱۶].

فوتورساناهایی که تابش اپتیکی با توان بالا را آشکارسازی می کنند از مواد نیمه رسانا با نوار گاف پهن ( $3.4 - 6.2 \text{ eV}$ ) مانند GaN و AlGaIn ساخته شده اند. آشکارسازهای فوتورسانای GaN که بر روی زیر لایه ی  $^6\text{H-SiC}$  ساخته می شوند

<sup>۱</sup>. Alloying

دارای بازده بالا هستند [۱۷] و [۱۸]. بازده بالای این دسته از آشکارسازها به دلیل مکانیزم مدولاسیون<sup>۱</sup> لایه ی رسانش است [۱۷].

بطور کلی، یکی از مشخصه های بارز این دسته از آشکارسازها مکانیزم بازده بالا است. زیرا الکترون چندین مرتبه قبل از بازترکیب، در مدار می چرخد و در جریان شرکت می کند [۱۹].

یکی از توجهات مهم در عملکرد این نوع آشکارسازها تولید نویز است. نویز اساسا توسط جریان تاریک بزرگ تولید می شود. این نویز، نویز جانسون<sup>۲</sup> یا گرمایی<sup>۳</sup> نامیده می شود. نویز گرمایی ناشی از حرکت تصادفی حامل هایی است که در جریان شرکت می کنند. برای کاهش نویز، رسانش تاریک قطعه را کاهش می دهند.

### ۳-۱ فوتودیودهای PIN

فوتودیود PIN یک دیود پیوندی است که در آن ناحیه ی ذاتی I ( $p^-$  یا  $n^-$ ، بستگی به روش تشکیل پیوند) بین نواحی  $p^+$  و  $n^+$  قرار داده می شود. ناحیه ی ذاتی لزوما کاملا ذاتی نیست بلکه تا اندازه ای که از مقاومت بالا برخوردار می باشد [۲۰]. به دلیل چگالی پایین حامل های آزاد در ناحیه ی ذاتی و مقاومت بالای ناحیه، هر بایاس مستقیم تقریبا بطور کامل در طول ناحیه افت می کند. ناحیه ی ذاتی به ازای ولتاژ صفر یا اعمال ولتاژ معکوس کوچکی، بطور کامل تخلیه می شود. به منظور جمع آوری تمام فوتوحامل های تولید شده (جفت های الکترون-حفره) ناحیه ی ذاتی آشکارساز PIN دارای پهنای کنترل شده است. کاهش پهنای ناحیه ی ذاتی سبب افزایش سرعت پاسخ و پهنای باند و از طرفی کاهش بازده کوانتومی و پاسخ دهی قطعه می شود.

از نظر تاریخی نخستین آشکارساز PIN در سال ۱۹۶۲ از نیمه رسانای ژرمانیم به منظور عملکرد در ناحیه ی مرئی و نزدیک به مادون قرمز ساخته شد [۲۱]. پاسخ زمانی این قطعه، یک پالس الکتریکی با زمان صعود نسبتا طولانی  $0.6 \times 10^{-9}$  ثانیه بود.

---

1. Modulation Mechanism

2. Johnson noise

3. Thermal noise