

الحمد لله رب العالمين

دانشگاه گیلان  
دانشکده علوم

گروه فیزیک  
(گرایش حالت جامد)

پایان نامه کارشناسی ارشد

ساخت و مشخصه یابی الکتریکی و اپتیکی آشکارساز نوری فلز-نیمه هادی- فلز با استفاده از  
ویفر سلیکن

از:

مریم زارعی

استادان راهنما:

دکتر حمید رضا مشایخی

دکتر محمد هادی ملکی

استاد مشاور:

دکتر سید محمد روضاتی

۱۳۸۷ / ۱۶ / ۰۵



۱۰۲۵۸۷

اسفند ۸۶

تقدیم:

با احترام به پدر و مادر عزیزه

و با عشق به همسره

## تقدیر و تشکر:

با سپاس از یگانه خالق هستی، همان قادر مطلق که بااستعانت از لطف بیکران اوتوفیق انجام این پایان نامه را یافتم.

وظیفه خود میدانم مراتب سپاس و قدردانی خود را از کسانی که مرا در انجام این پایان نامه یاری فرموده اند ابراز دارم.

سپاس و تشکر ویژه نثار اساتید محترم جناب آقای دکترحمیدرضا مشایخی و جناب آقای دکتر محمد هادی ملکی که با راهنمایی های با ارزششان مرا در انجام این پروژه یاری نموده اند.

از جناب آقای دکتر محمد روضاتی که بعنوان مشاور در این پروژه مرا یاری نموده اند تشکر می نمایم. از جناب آقای دکتر اسفندیار رجایی و آقای دکتر سعید باطبی که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند تشکر می نمایم.

از جناب آقای دکتر قاسمی زاد که بعنوان نماینده محترم تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع حضور داشته اند تشکر می کنم.

از کارکنان محترم سازمان انرژی اتمی بخش اپتیک ولیزر بخصوص از سرکار خانم مریم حیدریور تشکر می نمایم.

از همراهی و مساعدت خانواده محترم همسر، خانواده فرعی، دوستان فداکار و عزیزم، و خواهران مهربان و دلسوزم، حدیث و صبا زارعی، کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

در پایان این پایان نامه را به پاس زحمات و تلاشهای بی پایان پدر و مادر مهربانم و همسر عزیزم که همواره یار و پشتیبان من در تمام مراحل زندگی بوده اند تقدیم و بلندترین درود ها و ژرف ترین سپاسهای قلبیم را پیشکش حضورشان می نمایم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ر	چکیده فارسی
ز	چکیده انگلیسی
	<b>فصل اول: مقدمه</b>
۱	۱-۱ ارتباطات
۲	۲-۱ ارتباطات فیبر نوری
۲	۳-۱ آشکار سازها
	<b>فصل دوم: مقدمه ای بر فیزیک قطعات نیمه رسانا</b>
۵	۱-۲ نوارهای انرژی در جامدات
۵	۲-۲ پر شدن نوارهای انرژی توسط الکترونها
۷	۱-۲-۲ فلزات، نیمه رساناها ، عایقها
۸	۳-۲ گاف مستقیم و غیر مستقیم نیمه رسانا ها
۹	۴-۲ سطح انرژی فرمی
۱۰	۵-۲ نیمه رسانای ذاتی و غیر ذاتی
۱۱	۱-۵-۲ نیمه رسانای ذاتی
۱۱	۲-۵-۲ نیمه رسانای غیر ذاتی
۱۴	۶-۲ اثر دما در تراکم حاملهای بار نیمه رسانا ذاتی و غیر ذاتی
۱۶	۷-۲ مکان تراز فرمی در نیمه رساناها
۱۷	۸-۲ تولید و باز ترکیب حاملهای بار غیر تعادلی
۱۸	۹-۲ پخش در نیمه رساناها

۱۹	۲-۲۰ سوق در نیمه رسانا ها
۲۰	۲-۱۱ معادلات چگالی جریان
۲۰	۲-۱۲ پیوندگاه ها
۲۱	۲-۱۲-۱ پیوند گاه p-n در حالت تعادل
۲۲	۲-۱۲-۲ پیوند گاه p-n در حالت بایاس
۲۵	۲-۱۲-۳ شکست بایاس معکوس
۲۵	۲-۱۳ پیوندگاههای فلز-نیمه رسانا
۲۶	۲-۱۳-۱ سدهای شاتکی
۲۷	۲-۱۳-۲ اتصالات یکسو ساز
۲۹	۲-۱۳-۳ اتصالات اهمی

### فصل سوم : آشکار سازهای نوری

۳۱	۳-۱ مقدمه
۳۲	۳-۲ آشکارسازهای نوری نیمه رسانا
۳۳	۳-۳ بازده کوانتومی
۳۴	۳-۴ زمان پاسخگویی
۳۶	۳-۵ فوتورساناها
۳۷	۳-۶ آشکار ساز نوری pin
۳۹	۳-۷ آشکار ساز نوری بهمنی (APD)
۴۱	۳-۸ آشکار ساز نوری فلز-نیمه هادی-فلز (MSM)
۴۲	۳-۹ آشکار ساز نوری BGMSM

### فصل چهارم : لایه نشانی

۴۵	۴-۱ مقدمه
۴۶	۴-۲ ویژگی های زیر لایه خوب

۴۷	۳-۴ انواع روشهای لایه نشانی
۴۷	۱-۳-۴ تبخیر حرارتی
۴۸	۱-۱-۳-۴ انواع منابع حرارتی
۵۰	۲-۱-۳-۴ شرایط مورد نظر برای گرم کننده های حرارتی
۵۰	۲-۳-۴ روشهای باریکه مولکولی (MBE)
۵۱	۳-۳-۴ باریکه الکترونی
۵۲	۴-۳-۴ روشهای کاری یونی
۵۲	۵-۳-۴ تبخیر به کمک لیزر
۵۲	۶-۳-۴ کندوپاش
۵۴	۴-۴ اندازه گیری ضخامت لایه
۵۴	۱-۴-۴ روشهای اپتیکی
۵۴	۲-۴-۴ روشهای الکتریکی
۵۴	۳-۴-۴ روش نوسانگر بلور کوارتز
۵۵	۵-۴ اندازه گیری مقاومت لایه های نازک

#### فصل پنجم: مراحل ساخت قطعه

۵۷	۱-۵ مقدمه
۵۹	۲-۵ پارامتر های انتخاب ماده
۶۱	۳-۵ انتخاب ماده آشکارساز
۶۴	۴-۵ نحوه ی ایجاد اتصال شاتکی
۶۵	۵-۵ مراحل ساخت قطعه

#### فصل ششم: نتایج تجربی

۷۱	۱-۶ نمودار I-V در عدم حضور نور
۷۲	۲-۶ نمودار I-V در حضور نور

۷۴

۶-۳ نتیجه گیری

۷۶

فهرست مراجع



## فهرست جدولها

صفحه

عنوان

۴۴

جدول (۱-۳) ضخامت و میزان ناخالصی یک نمونه آشکارساز BGMSM

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۶	شکل (۱-۲) شکل باندهای انرژی در یک بلور الماس گونه
۷	شکل (۲-۲) ساختار نواری فلزات، نیمه هادی ها، عایق ها در $T=0^\circ K$
۸	شکل (۳-۲) نمودار $\vec{E} - \vec{K}$ : (a) نیمه هادی با گاف مستقیم (b) نیمه هادی با گاف غیر مستقیم
۹	شکل (۴-۲) تابع توزیع فرمی- دیراک به ازای دماهای مختلف
۱۲	شکل (۵-۲) بخشش الکترونها از یک تراز دهنده به نوار هدایت
۱۳	شکل (۶-۲) پذیرش الکترونها نوار ظرفیت توسط یک تراز پذیرنده و تولید حفره های حاصل از آن
۱۵	شکل (۷-۲) تراکم باربرها برحسب عکس دما برای Si با تراکم دهنده $10^{15} \text{ cm}^{-3}$
۱۶	شکل (۸-۲) تراز فرمی در نیمه رسانا ذاتی
۲۱	شکل (۹-۲) نمودار نوار پیوند p-n: (a) قبل از تشکیل پیوندگاه، (b) بعد از تشکیل پیوندگاه، (c) جهت جریان سوق وپخش
۲۳	شکل (۱۰-۲) نمایش اثر بایاس در پیوندگاه p-n
۲۴	شکل (۱۱-۲) مشخصه I-V یک پیوندگاه p-n
۲۵	شکل (۱۲-۲) نمودار شکست بایاس معکوس در پیوندگاه p-n
۲۶	شکل (۱۳-۲) شکل سد شاتکی برای نیمه هادی نوع n با فلزی که تابع کار بزرگتری دارد.
۲۷	شکل (۱۴-۲) سد شاتکی برای نیمه هادی نوع p و فلزی که تابع کار کوچکتری دارد.
۲۸	شکل (۱۵-۲) اثر بایاسهای مستقیم و معکوس روی پیوند
۲۹	شکل (۱۶-۲) مشخصه I-V اتصالات اهمی
۳۰	شکل (۱۷-۲) اتصالات اهمی فلز نیمه رسانا (a) $\phi_m < \phi_s$ برای یک نیمه رسانا نوع p، (b) نمودار انرژی پیوند در حالت تعادل، (c) $\phi_m > \phi_s$ برای نیمه رسانا نوع p، (d) پیوند در حالت تعادل
۳۳	شکل (۱-۳) ضرایب جذب نوری برای مواد نیمه رسانا گوناگون
۳۴	شکل (۲-۳) بازده کوانتومی برحسب طول موج برای انواع آشکارسازهای نوری

- شکل (۳-۳) تصویر شماتیک از فوتورسانا با دو اتصال اهمی در دو طرف آشکارساز ۳۶
- شکل (۴-۳) تصویر شماتیک از عملکرد آشکارساز نوری (a: pin) ساختار فوتودیود (b: pin) نمودار نوار انرژی دیود در بایاس معکوس (c) توان اپتیکی بصورت تابعی از عمق در ناحیه i ۳۸
- شکل (۵-۳) نمودار شماتیک مشخصه جریان-ولتاژ یک آشکارساز نوری pin ۳۸
- شکل (۶-۳) تصویر شماتیک فوتودیود بهمنی (a) فوتودیود بهمنی در بایاس معکوس (b) الکترون‌ها و حفره‌های تکثیر شده ۴۰
- شکل (۷-۳) تصویر شماتیک یک آشکارساز نوری MSM (a) نمونه انگشتی تودرتوی یک نیمه هادی (b) معادل الکتریکی ساده دیودهای پشت به پشت (c) نمودار نوار انرژی تحت بایاس (d) مشخصه جریان-ولتاژ قطعه ۴۱
- شکل (۸-۳) تصویر شماتیک آشکارساز نوری BGMSM ۴۳
- شکل (۱-۴) نمودار روشهای مختلف لایه نشانی ۴۶
- شکل (۲-۴) قطعات اساسی دستگاه تبخیر در خلاء ۴۸
- شکل (۳-۴) گونه‌های مختلف مقاومت گرم کننده ۴۹
- شکل (۴-۴) دستگاه لایه نشانی به روش باریکه الکترونی ۵۱
- شکل (۵-۴) دستگاه انباشت به روش کندوپاش ۵۳
- شکل (۶-۴) اندازه گیری مقاومت توسط پروپ چهار نقطه ای ۵۵
- شکل (۱-۵) نمایش فوتون تابیده شده با انرژی بیش از گاف نواری ۵۹
- شکل (۲-۵) نمودار وابستگی  $\alpha$  به طول موج برای فوتونهای فرودی ۶۰
- شکل (۳-۵) انرژی گاف نواری برخی از نیمه رساناهای متداول نسبت به طیف نوری ۵۹
- شکل (۴-۵) ساختار شبکه الماسی (۱۱۱) Si ۶۲
- شکل (۵-۵) نمودار گاف نواری Si ۶۳
- شکل (۶-۵) تصویر دستگاه لایه نشانی ۶۶
- شکل (۷-۵) ویفر Si لایه نشانی شده با فلز ۶۸
- شکل (۸-۵) تصویر شکاف ایجاد شده به فاصله  $30-50 \mu m$  با استفاده از لیزر Nd:YAG ۶۹

- شکل (۵-۹) وسیله طراحی شده برای برقراری جریان در ویفر
- شکل (۵-۱۰) نحوه ی ایجاد اتصالات روی آشکارساز ساخته شده
- شکل (۵-۱۱) نحوه ی قرار دادن آشکارساز در مدار
- شکل (۶-۱) نمودار مشخصه I-V آشکارساز MSM با استفاده از فلز Ag در عدم حضور نور
- شکل (۶-۲) نمودار مشخصه I-V آشکارساز MSM با استفاده از فلز Cu در عدم حضور نور
- شکل (۶-۳) لیزر He-Ne استفاده شده برای تاباندن نور
- شکل (۶-۴) نمودار مشخصه I-V آشکارساز MSM با استفاده از فلز Ag در حضور و عدم حضور نور
- شکل (۶-۵) نمودار I-V آشکارساز MSM با استفاده از فلز Cu در حضور و عدم حضور نور

ساخت و مشخصه یابی الکتریکی و اپتیکی آشکارساز نوری فلز-نیمه هادی - فلز با استفاده از ویفر سیلیکن

از: مریم زارعی

آشکار ساز نوری MSM یک قطعه اپتوالکترونیکی است که انرژی نوری را جذب و آنرا به انرژی الکتریکی، که بصورت جریان نوری است، تبدیل می کند.

این آشکارسازها شامل دو الکتروود است که بر روی یک لایه جاذب نیمه هادی واقع شده و مشخصه I-V آن شبیه مشخصه I-V دو دیود پشت به پشت هم می باشد. هدف از این پروژه ساخت آشکارساز نوری MSM با استفاده از ویفر سیلیسیوم نوع p می باشد.

برای ایجاد اتصالات شاتکی روی نیمه هادی نوع p باید از فلزاتی استفاده شود که تابع کار کمتری نسبت به نیمه هادی داشته باشند که برای بوجود آوردن اتصالات در این پروژه یکبار از فلز مس و بار دیگر از فلز نقره استفاده شده است و با استفاده از روش PVD هر کدام از مواد بطور جداگانه به ضخامت حدود  $700 \text{ nm}$  روی نیمرسانا انباشت شده است. در مرحله بعد با استفاده از لیزر Nd:YAG بعنوان یک پرنده ظریف یک گاف در حدود  $40 \mu\text{m}$  روی ویفر مورد نظر ایجاد شده است. در مرحله بعد نمودار I-V قطعه رسم شده است.

با توجه به گاف نواری سیلیسیوم، آشکارسازهایی از این نوع مواد می توانند فوتونهایی که در محدوده طول موج امواج مادون قرمز یا کمتر هستند را آشکار سازی کنند. در این مرحله لیزر هلیوم - نئون با طول موج نور قرمز به کار رفت و رفتار I-V قطعه در حضور و غیاب توان اپتیکی لیزر بررسی شد.

کلید واژه: آشکارساز نوری سیلیسیوم ، آشکارساز نوری MSM ، ساخت

## Abstract

### **Fabrication and electrical and optical characterization of Metal-Semiconductor-Metal Photodetector using silicon wafer**

**From: Maryam Zarei**

The MSM Photodetector is an optoelectronic device which absorbs optical energy and converts it to electrical energy in the form of photocurrent. This kind of photodetectors consist two electrodes on top of a semiconductor absorbing layer and its I-V characteristics is the same as that of two back to back diodes. The goal of this project is to make a MSM photodetector using p-type Si wafer. Materials such as copper and silver with lower work function relative to wafer should be used for making Schottky contacts on p-type semiconductors. These materials with 700 nm thickness were deposited on top of wafer separately using physical vapor deposition, PVD. In the next stage, using a Nd:YAG Laser as a fine cutter, a gap of 40  $\mu\text{m}$  has been created on the wafer. At the end, the I-V characteristics of the device have been obtained and plotted.

Paying attention to Si energy band gap, the photodetectors of these kinds of materials can detect photons in the range of infrared or below. We used a red light He-Ne laser as a source of optical power. The I-V characteristics of the device has been investigated in the presence and absence of optical power.

**Key words:** Silicon Photodetector, MSM Photodetector, Fabrication

# فصل اول:

## مقدمه

### ۱-۱ ارتباطات

یکی از اساسی ترین نیازهای بشر برقراری ارتباط با دیگران است. بنابراین ساخت سیستم های ارتباطی یکی از نیازهای بشر می باشد و ریشه عمیقی در تاریخ پیدایش بشر دارد و روز به روز با پیشرفت علم ارتباطات سریع تر از گذشته می شود. یکی از ابتدایی ترین روشهای ارتباط در قدیم استفاده از سیگنالهای آتش بوده است که بدلیل محدودیت هایی از قبیل شرایط آب وهوایی مثل باران و شرایط جغرافیایی این سیستم را بی فایده می کند.

در سال ۱۸۳۷ با ظهور ارتباط تلگرافی توسط مورس، عصر ارتباط الکتریکی آغاز گردید [۱]. این انتقال توسط کابلهای مفتولی انجام می شود [۲] و سیگنالها می توانستند مسافتهای طولانی در حدود ۱۰۰۰ کیلو متر را با سرعت ۱۰ بیت بر ثانیه طی کنند. اختراع تلفن در سال ۱۸۷۶ تحول عظیمی در ارتباطات الکتریکی ایجاد کرد [۱]. استفاده از کابلهای هم محور به جای سیم های جفت ظرفیت سیستم را ۳ مگا هرتز افزایش داد اما پهنای باند چنین سیستم هایی به دلیل وجود اتلاف بالا در کابل در فرکانسهای بالا نمی توانست بیش از ۱۰ مگا هرتز افزایش یابد.

با استفاده از ماکروویو ها پهنای باند سیستم های ارتباطات، افزایش زیادی پیدا کرد. با ظهور و ورود لیزر در سیستم ارتباطات در سال ۱۹۶۰ پهنای باند برای انتقال ارتباطات وسیع تر گردید و اولین لیزر با طول موج ۶۹۴ نانو متر که حدودا بر فرکانس  $5 \times 10^{14}$  هرتز منطبق است بکار گرفته شد [۳].

یک سیستم ارتباطی شامل ۳ قسمت است :

۱- انتقال دهنده<sup>۱</sup>: که اطلاعات را به صورت انرژی با سیگنالهای مناسب وارد کانال انتقال می کند.

۲- کانال انتقال<sup>۲</sup>: که رابط بین انتقال دهنده و گیرنده است. برای سیگنالهای الکترومغناطیسی کانال ممکن است فضای آزاد، کانالهای هدایت شده ای مثل سیم، موجبر و فیبرهای نوری باشد که البته سیگنالهای عبوری در طول کانال انتقال دچار تضعیف و اعوجاج می شوند حتی ممکن است به آنها نویز هم اضافه شود.

<sup>۱</sup>-Transmitter

<sup>۲</sup>-Transmission channel

۳-گیرنده<sup>۱</sup>: سیگنال خارج شده از کانال انتقال را گرفته و آنرا تقویت می کند و به شکل سیگنال اولیه تبدیل می کند. یک جزء مهم این گیرنده در ارتباطات فیبر نوری آشکارسازهای نوری هستند که پالسهای نوری را به پالسهای الکتریکی تبدیل می کنند [۱].

## ۱-۲ ارتباطات فیبر نوری<sup>۲</sup>

انتقال سیگنالهای نوری از منبع به آشکار ساز را می توان با استفاده از فیبرهای نوری بین منبع نور و آشکار ساز به میزان بسیار زیادی بهبود بخشید. یک تار نوری معمولا از توده ای از شیشه تشکیل شده تا به ضخامت تقریبی  $25 \mu m$  می رسد. تار شیشه ای نسبتا انعطاف پذیر بوده و بدون نیاز به همراستایی کامل بین منبع و آشکار ساز می تواند برای هدایت سیگنالهای نوری در مسافتهای چندین کیلومتری بکار رود. این امر کاربرد مخابرات نوری را در حوزه هایی چون تلفن و انتقال داده ها به میزان قابل توجهی افزایش می دهد [۴].

فیبرهای نوری در سیستم مخابرات نوری به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- فیبرهای چند مد<sup>۳</sup>: برای انتقال اطلاعات زیاد

۲- فیبرهای تک مد<sup>۴</sup>: برای انتقال اطلاعات در مسافتهای طولانی

انتقال اطلاعات از طریق فیبر نوری نسبت به کابلهای هم محور و همچنین خطوط ماکروویو مزایا و راندمان بیشتری دارد. تا بحال استفاده از خطوط ماکروویو به دلیل ظرفیت زیاد ارسال اطلاعات، با پهنای باندی در حد مگا هرتز و قابلیت انعطاف آن در ترکیب و توزیع سیگنالهای با پهنای باند باریک و پهن، تا فواصل ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر روش موثر و قابل اجرایی بوده است [۵]. از طرف دیگر شبکه توزیع کابلهای هم محور اساسا در انتقال سیگنالهای با عرض باند زیاد و فواصل کوتاه به کار میرود و در ارسال فواصل بلند از طریق این شبکه، تکرار کننده های میانی زیادی لازم است که در مجموع قیمت سیستم را بالا می برد. تحت این شرایط با استفاده از شبکه های توزیع فیبر نوری با عرض باند بسیار بیشتر و توام با تکرار کننده های میانی، توانسته اند سیگنالها را در فواصل طولانی تر ارسال کنند و در مجموع راندمان انتقال را افزایش دهند.

## ۱-۳ آشکارسازها

در خروجی هر خط انتقال نوری گیرنده ای لازم است تا اطلاعات موجود در سیگنال نوری را تفسیر کند، اولین جزء گیرنده، آشکار ساز نوری می باشد. آشکارسازها سیگنالهای نوری دریافتی را تفسیر و آنها را به سیگنالهای الکتریکی تبدیل می کنند [۶].

<sup>1</sup> -Receiver

<sup>2</sup> -Optical fiber communication

<sup>3</sup> -Multi mode fiber

<sup>4</sup> -Signal mode fiber



آشکار سازهای نوری گستره وسیعی از طول موجها را آشکار سازی میکنند. کاربردهای مورد انتظار از آشکار سازهای نوری عبارتند از: حساسیت بالا در گستره طول موج گسیل شده از منبع نوری، نویز پایین، پهنای باند عریض برای سرعت-مطلوب-در-انتقال اطلاعات، قابلیت اطمینان بالا، هزینه پایین، جریان تاریک کم، بازده کوانتومی بالا. در کاربردهای عمومی، معمولا آشکارسازهای نوری با سرعت یا بهره بالا مورد استفاده قرار می گیرند.

بطور کلی پهنای باند و بهره فیزیکی دو پارامتر اساسی در آشکارسازهای نوری می باشند و با توجه به این که کاهش یکی باعث افزایش دیگری می شود با توجه به نوع کاربرد و نحوه ی استفاده، آنها را نسبت به هم بهینه می کنیم.

آشکار سازها برحسب مکانیزم پاسخ به نور تابشی به سه گروه عمده زیر طبقه بندی می شود [7]:

۱- آشکارسازهای نیمه هادی که در آنها با تابش نور به ماده، اکترونها از نوار ظرفیت به نوار هدایت پراکنجسته می شوند.

۲- آشکارسازهای فوتون گسیل، مانند لامپهای تقویت نور، که در آنها تابش نور به یک ماده حساس به نور سبب آزاد شدن الکترونها می شود.

۳- آشکارسازهای حرارتی که در آنها دمای ماده تابش دیده افزایش می یابد و خواص الکتریکی آن تغییر می کند .

مناسب ترین آشکارسازها در سیستم های مخابرات نوری آشکارسازهای نوری نیمه رسانا هستند که قیمت کم، اندازه کوچک، استحکام بالا، گستره طیفی مناسب، حساسیت بالا و پاسخگویی سریع از مزایای این نوع آشکارساز می باشد.

آشکارسازهای نوری نیمه رسانا بسته به نوع کاربرد دارای طراحی و ساختار متفاوتی هستند، آگاهی به شیوه ی کار هر نوع آشکار ساز نیاز به اطلاعات پایه درباره قطعات نیمه هادی دارد که در فصل دوم با آن آشنا می شویم. آشکارسازهای نوری می توانند بعنوان مولد انرژی مانند رسانای فوتونی، یا به عنوان آشکار سازهای سریع مثل MSM و pin و یا دارای بهره زیاد مثل APD<sup>1</sup> باشند در مورد نحوه ای کار و خصوصیات انواع آشکارسازها در فصل سوم، اشاره ای شده است.

آشکارسازها نوری MSM به دلیل ساختار ساده شان و ظرفیت خازنی پایین از اهمیت خاصی در سیستم های مخابرات نوری برخوردار هستند. این آشکارسازهای مانند دو دیود پشت به پشت با دو اتصال شاتکی روی نیمه رسانا تشکیل شده است. برای برقراری اتصالات شاتکی نیاز به آشنایی مقدماتی در مورد تکنولوژی لایه نشانی داریم فصل چهارم به توضیحاتی در این زمینه می پردازد. فصل پنجم در مورد نحوه ای ساخت آشکار ساز نوری MSM با استفاده از سیلیسیوم نوع p و به چگونگی ایجاد اتصالات شاتکی روی این قطعه پرداخته است و همچنین اشاره ای به گستره ی طول موج آشکارسازی شده توسط این آشکارساز دارد.

<sup>1</sup> -Avalanche Photodetector

فصل ششم نمودار تجربی I-V قطعه ساخته شده را در حضور نور و عدم حضور نور برای دو اتصال شاتکی با دو فلز متفاوت مس (Cu) و نقره (Ag) روی نیمرسانا Si نوع p، رسم کرده است. نتایج حاصل از نمودار I-V گویای این مطلب است که آشکار ساز ساخته شده نسبت به نور حساس بوده و پاسخ آن بصورت تغییراتی در نمودار I-V نمایان شده است.

## فصل دوم:

### مقدمه ای بر فیزیک قطعات نیمه رسانا

#### ۱-۲ نوارهای انرژی در جامدات

می‌دانیم الکترونها به مجموعه‌ای از ترازهای انرژی گسسته در درون اتم محدود می‌شوند (مدل بوهر). شکافهای<sup>۱</sup> بزرگی در مقیاس انرژی وجود دارد که در آنها هیچگونه حالت انرژی در دسترس نیست. به این ترتیب الکترونها در جامدات به انرژی‌های معینی محدود شده و مجاز به قرار گرفتن در انرژیهای دیگر نیستند. تفاوت اساسی بین الکترون در یک جامد با الکترون در یک اتم جدا شده این است: که در جامد الکترون دارای یک گستره<sup>۲</sup> یا نواری<sup>۳</sup> از انرژیهای قابل دسترس است و ترازهای انرژی گسسته در یک اتم منفرد به نوارهایی از انرژی در جامد گسترش می‌یابد [۴]. زیرا در جامد توابع موج الکترونیهای اتمهای همسایه همپوشانی داشته و یک الکترون الزاماً در یک اتم خاص قرار ندارد. پس به عنوان مثال الکترون واقع در مدار بیرونی یک اتم اثر اتمهای همسایه را حس کرده و تابع موج کلی آن تغییر می‌کند. طبیعتاً این تاثیر بر جمله انرژی پتانسیل و شرایط مرزی در معادله موج نیز اثر گذاشته و انتظار بدست آوردن انرژیهای مختلفی را در پاسخ داریم. معمولاً اثر اتمهای همسایه بر روی ترازهای انرژی یک اتم خاص را می‌توان بعنوان اختلال<sup>۴</sup> کوچکی در نظر گرفت، که منجر به انتقال و شکافت حالت‌های انرژی به نوارهای انرژی می‌شود.

#### ۲-۲ پر شدن نوارهای انرژی توسط الکترونها

با گرد هم آمدن اتمهای منفرد به منظور تشکیل یک جامد، برهمکنشهای مختلفی بین اتمهای همسایه روی می‌دهد. نیروهای جاذبه و دافعه بین اتمها در فاصله بین اتمی معینی در بلور به حالت تعادل می‌رسند. در این فرآیند، تغییرات مهمی در شکل ترازهای انرژی الکترونها روی داده که منجر به خواص الکتریکی تغییر یافته جامدات می‌شود. بصورت کیفی، ملاحظه می‌کنیم که با کنار هم آمدن اتمها بکارگیری اصل طردپائولی<sup>۵</sup> اهمیت پیدا می‌کند. دو اتم هنگامی که کاملاً از یکدیگر جدا شوند بطوری که هیچگونه برهمکنش بین توابع موج الکترون وجود نداشته باشد می‌توانند دارای ساختار مشابه الکترونی باشند. با کوچک شدن فاصله بین دو اتم توابع موج الکترونی شروع به همپوشانی<sup>۶</sup> می‌کنند. اصل طرد لازم می‌دارد که در یک سیستم

<sup>1</sup> -Gap

<sup>2</sup> -Range

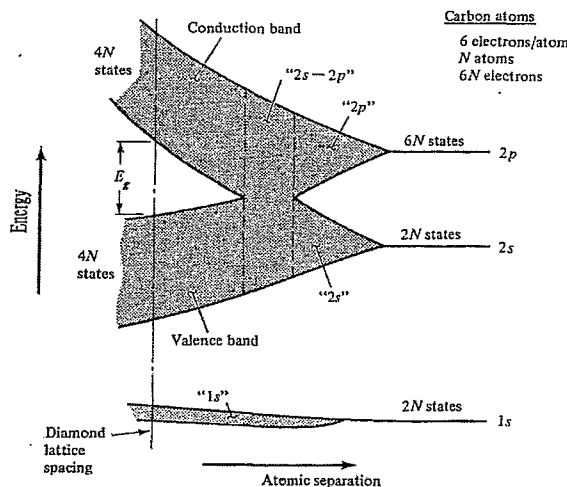
<sup>3</sup> -Band

<sup>4</sup> -Perturbation

<sup>5</sup> -Pauli exclusion principle

<sup>6</sup> -Overlap

برهمکنشی، هیچ دو الکترونی نمی‌توانند دارای حالت کوانتومی یکسان باشند، پس باید ترازهای انرژی مجزا از اتمهای منفرد به ترازهای جدید متعلق به هر دو اتم، و نه یکی از آنها تقسیم شوند. در یک جامد بسیاری از اتمها طوری گرد هم می‌آیند که ترازهای انرژی تقسیم شده اساساً نوارهای پیوسته‌ای از انرژی را بوجود می‌آورند. برای مثال شکل (۱-۲) تشکیل تجسمی یک بلور الماس گونه را از اتمهای منفرد کربن نشان می‌دهد [۴].



شکل ۱-۲: شکل باندهای انرژی در یک بلور الماس گونه کربن

هر اتم منفرد کربن دارای ساختار الکترونی  $1s^2 2s^2 2p^2$  در حالت پایه<sup>۱</sup> است. هر اتم دارای دو حالت در  $1s$ ، دو حالت در  $2s$  و شش حالت در  $2p$  می‌باشد. اگر  $N$  اتم را در نظر بگیریم برای  $1s, 2s, 2p$  به ترتیب  $2N, 2N, 6N$  حالت وجود خواهد داشت با کاهش فاصله بین اتمی این ترازهای انرژی به نوارهای تقسیم می‌شوند که از پوسته بیرونی ( $n=2$ ) شروع می‌شود. با رشد نوارهای  $2p, 2s$  ترازهای انرژی آنها با هم مخلوط می‌شوند و نهایتاً بصورت یک نوار منفرد در می‌آیند. این نوار از ترازهای  $2s, 2p$  شامل  $8N$  حالت قابل دسترس است با نزدیک شدن فاصله بین اتمها به فاصله بین اتمی حالت تعادل الماس، این نوار به دو نوار تقسیم می‌گردد که توسط یک شکاف انرژی<sup>۲</sup>،  $E_g$ ، از هم جدا شده‌اند نوار بالایی موسوم به نوار هدایت<sup>۳</sup>، همچون نوار پایینی موسوم به نوار ظرفیت<sup>۴</sup> دارای  $4N$  حالت است. بنابراین جدا از ترازهای پایینی و به سختی مقید  $1s$  بلور الماس دارای دو نوار از ترازهای انرژی قابل دسترس است، که توسط یک شکاف انرژی مجاز برای اشغال توسط الکترونها از هم جدا شده‌اند. این شکاف گاهی نوار ممنوعه<sup>۵</sup> نیز نامیده می‌شود زیرا فاقد هرگونه تراز برای اشغال الکترون می‌باشد.

- <sup>1</sup>-Ground state
- <sup>2</sup>-Energy gap
- <sup>3</sup>-Conduction band
- <sup>4</sup>-Valence band
- <sup>5</sup>-Forbidden band