

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت معلم

دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی فیزیک

موضوع :

تهیه لایه نازک از نانو بلورهای کادمیم سلنید به روش حمام شیمیایی و تعیین ویژگی های آن و بررسی عوامل موثر بر آن ویژگی ها

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر غفار متدین اول

نگارش :

مهدیه پوررضاییان خورسندی

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۳

اسفند ۱۳۸۶

۹۰۹۳۵

تقدیم بہ

روح پدر بزرگوارم کہ اندرزهای اور، نمون راہم بودہ و ہست

و مادر مہربانم بہ پاس تمام محبت با و از خود گذشتگی ہایش.

و ہمسر عزیزم، کہ در ہمہ حال عاشقانہ و صبورانہ پشتیبان و ہمراہ من بودہ است.

بار ابا! اکنون که مرحله ناپختگی از مراحل صعود پرده های علم و دانش را طی نموده ام خود را کوچکتر از آن می بینم که حرکتی به خود نسبت دهم، چرا که اگر توفیق خواستی من هیچ نبودم اما اکنون که تو خواستی پاس تو راست و امید آن دارم که در راه تو قویتر از همیشه کام بردارم و جز حقیقت و راستی نگویم.

این رساله مرهون تلاش و مساعدت عزیزانی است که در این مجال بر خود لازم می دانم که از آنان قدر دانی نمایم:

- از جناب آقای دکتر غفار متدین اول که راهنمایی این پایان نامه را برعهده داشتند کمال تشکر را دارم.

- از جناب آقای دکتر سهیلیان و جناب آقای دکتر آوانس که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را پذیرا شدند بسیار سپاسگزارم.

- از تمامی معلمان و اساتیدی که در طول دوران تحصیل از محضرشان کسب علم نموده ام خالصانه تشکر می کنم.

- از خانواده مهربانم که در تمام مراحل زندگی مشوق من بودند و هستند و دوستان عزیزم خانمها محدثه زارعی، رقیه نوروزی، لیلا کامل، پریسا نوروزی که با هم زیستیم و همیشه بر این باور بودیم که، تنها خوبیست که می ماند.

- از کمک های بی دریغ آقای دکتر صحرایی و آقای دکتر گودرزی و کلیه دوستان خوبم در آزمایشگاه شیمی فیزیک سپاسگزارم.

- در نهایت از تمامی کارمندان دانشکده شیمی بویژه خانم ها فراهانی، نور محمد کمال تشکر را دارم.

## چکیده

CdSe یک نیمه رسانای نوع II - VI است. که شکاف انرژی آن، در دمای اتاق  $1.75 \text{ eV}$  است. این ترکیب یکی از مهم ترین مواد در تهیه قطعات اپتوالکترونیک و سلول های نوررسانا و سلول های خورشیدی است. در طی سال های اخیر لایه نازک کادمیم سلنید مورد توجه فراوان قرار گرفته است و به وسیله روش های مختلفی همچون تبخیر در خلا، افشان پیرولیز، سل ژل و لایه نشانی حمام شیمیایی (CBD) تهیه شده است. ویژگی های لایه نازک کادمیم سلنید تهیه شده به روش حمام شیمیایی (CBD) بر روی زیر لایه شیشه ای تحت تاثیر عوامل مختلف مثل غلظت مواد تشکیل دهنده، pH و دمای آن می باشد. تهیه لایه نازک های کادمیم سلنید به روش حمام شیمیایی (CBD) معمولاً به طور نسبی در غلظت های بالایی از  $\text{Cd}^{2+}$  و در محیط های آمونیاکی انجام می گیرد. با توجه به نامطلوب بودن ورود یون های کادمیم موجود در پسابهای روش CBD به محیط زیست و فراریت آمونیاک و ورود آن به اتمسفر، در این تحقیق (پایان نامه) جهت بررسی امکان کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از لایه نشانی به روش CBD، از غلظت های پایین یون کادمیم استفاده شد و آمونیاک حذف گردید. لایه های حاصل از نانو بلورهای تهیه شده از کادمیم سلنید از کیفیت مناسبی برخوردار بودند.

در این پروژه لایه نازک های کادمیم سلنید که در دما های مختلف با نسبت های مختلف از غلظت لیگاند به کادمیم تهیه شده بودند، مورد مطالعه قرار گرفتند. طیف XRD، UV-Vis حاصل از لایه ها حاکی از آن است که لایه هایی با ساختار نانو بلوری و خواص نوری متفاوت در دماهای متفاوت تهیه شدند. برای عامل کمپلکس کننده تری اتانول آمین، مناسب ترین مقدار از نسبت غلظت عامل کمپلکس کننده به غلظت کادمیم، و هم چنین محدوده مناسب از pH که منجر به تهیه

لایه هایی با کیفیت بسیار خوب شد تعیین گردید. لایه نازک های تهیه شده در دمای محیط بوسیله میکروسکوپ الکترونی-رویشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که دما اثرات بسیار مشهودی بر روی مورفولوژی سطح لایه نازک های کادمیم سولنید دارد. این نتایج همچنین نشان می دهند که اندازه دانه ها در لایه نازک با سرعت واکنش و سرعت رها شدن یونهای  $Cd^{2+}$  و  $Se^{2-}$  با اندازه دانه ها در لایه نازک ارتباط مستقیم دارد.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: تئوری

#### بخش اول: نیمه رساناها

- ۱-۱-۱) رسانایی الکتریکی در مواد ..... ۳
- ۱-۱-۲) نیمه رسانا ها ..... ۵
- ۱-۱-۳) رسانایی الکتریکی در نیمه رسانا ها ..... ۵
- ۱-۱-۴) الکترون ها و حفره ها ..... ۶
- ۱-۱-۵) نیمه رساناهای ذاتی ..... ۷
- ۱-۱-۶) نیمه رساناهای غیر ذاتی ..... ۹

#### بخش دوم: نیمه رسانای کادمیم سلنید

- ۱-۲-۱) اثر فوتو ولتایی ..... ۱۳
- ۱-۲-۲) برخی خواص فیزیکی و شیمیایی کادمیم سلنید ..... ۱۴
- ۱-۲-۳) سلنیم و برخی خواص آن ..... ۱۵
- ۱-۲-۴) فلز کادمیم و اثرات زیست محیطی و بیولوژیکی آن ..... ۱۶
- ۱-۲-۵) کاربردهای لایه نازک کادمیم سلنید ..... ۱۸

#### بخش سوم: مکانیسم روش حمام شیمیایی و مزایا و معایب آن

- ۱-۳-۱) روش های مختلف لایه نشانی ..... ۲۲
- ۱-۳-۲) مزایا و معایب لایه نشانی به روش حمام شیمیایی ..... ۲۳
- ۱-۳-۳) لایه نشانی به روش حمام شیمیایی ..... ۲۴
- ۱-۳-۴) مکانیسم لایه نشانی به روش حمام شیمیایی ..... ۲۵

#### بخش چهارم: عوامل موثر ویژگیهای لایه نازک کادمیم سلنید

- ۴-۱) عوامل موثر بر خصوصیات لایه نازک های کادمیم سلنید ..... ۳۱

۳۱	.....دما (۱-۴-۱)
۳۳	..... اثر pH (۲-۴-۱)
۳۳	..... نسبت غلظت لیگاند به غلظت یون کادمیم (۳-۴-۱)
۳۵	..... نسبت غلظت سدیم سلنو سولفات به غلظت یون کادمیم (۴-۴-۱)
۳۶	..... زیر لایه (۵-۴-۱)
۳۸	..... تاثیر افزودن ناخالصی به لایه ها (۶-۴-۱)
۳۹	..... تاثیر افزودن بافر به محلول (۷-۴-۱)
۳۹	..... ضخامت لایه نازک (۸-۴-۱)
۴۰	..... مدت زمان لایه نشانی (۹-۴-۱)

### بخش پنجم: روشهای مطالعه لایه نازک کادمیم سلنید

۴۳	..... روشهای مطالعه لایه نازک ها (۵-۱)
۴۴	..... ضخامت لایه (۱-۵-۱)
۴۴	..... پراش پرتوهای ایکس (XRD) (۲-۵-۱)
۴۶	..... چسبندگی لایه های نازک (۳-۵-۱)
۴۶	..... میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (۴-۵-۱)
۴۷	..... تجزیه عنصری لایه نازک (EDX) (۵-۵-۱)
۴۷	..... طیف سنجی مرئی-فرابنفش (۶-۵-۱)

### فصل دوم: تجربی

#### بخش اول: تهیه لایه نازک های کادمیم سلنید به روش حمام شیمیایی

۵۱	..... مواد مورد استفاده، عموماً از شرکت Merk آلمان (۱-۱-۲)
۵۱	..... دستگاه ها (۲-۱-۲)
۵۲	..... آماده سازی حمام (۳-۱-۲)
۵۳	..... آماده سازی زیر لایه ها (۴-۱-۲)
۵۴	..... تهیه محلولهای به کار گرفته شده (۵-۱-۲)
۵۴	..... ظرف واکنش (۶-۱-۲)



- ۵۵..... ۷-۱-۲) مراحل تهیه لایه نازک کادمیم سلتید .....
- ۵۷..... ۸-۱-۲) تهیه لایه نازک کادمیم سلتید در دمای C° ۶۰.....
- ۵۹..... ۹-۱-۲) تهیه لایه نازک کادمیم سلتید در دمای محیط.....

#### بخش دوم: بررسی های صورت گرفته روی لایه ها

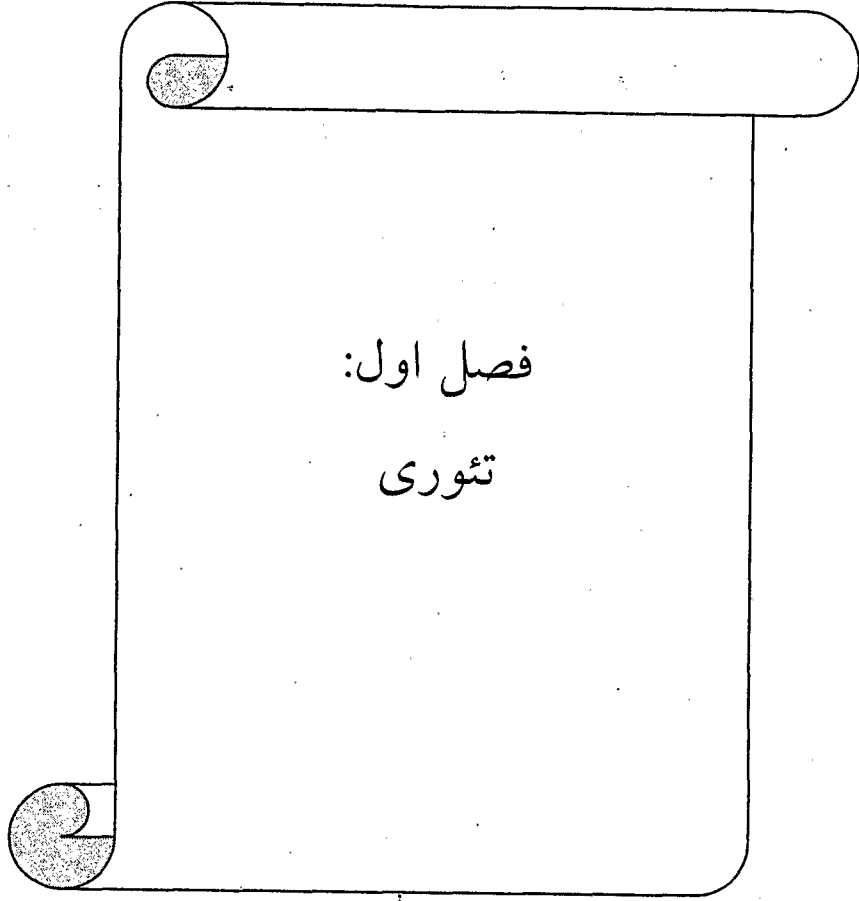
- ۶۱..... ۱-۲-۲) بررسی میزان چسبندگی بلورها.....
- ۶۱..... ۲-۲-۲) طیف سنجی مرئی-فرا بنفش.....
- ۶۲..... ۳-۲-۲) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....
- ۶۲..... ۴-۲-۲) پراش پرتوهای ایکس (XRD).....

#### فصل سوم: نتایج بررسی های انجام شده

- ۶۴..... ۱-۳) چسبندگی لایه ها به زیر لایه ها.....
- ۶۴..... ۲-۳) نتایج طیف سنجی مرئی-فرا بنفش.....
- ۶۸..... ۳-۳) تصاویر SEM سطح لایه نازک های کادمیم سلتید.....
- ۷۸..... ۴-۳) تجزیه عنصری لایه نازک های کادمیم سلتید.....
- ۸۱..... ۵-۳) طیف XRD لایه های تهیه شده در دماهای متفاوت.....

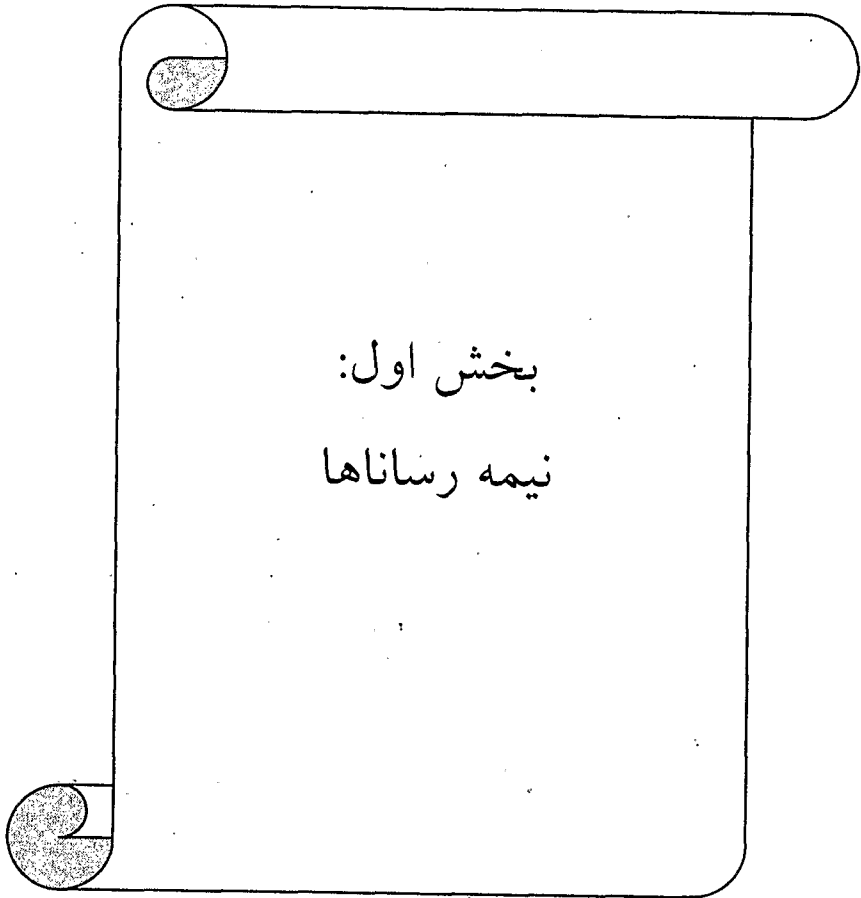
#### فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

- ۸۴..... ۱-۴) چسبندگی بلور های کادمیم سلتید به زیر لایه شیشه ای.....
- ۸۵..... ۲-۴) بررسی نتایج به دست آمده از طیف سنجی مرئی-فرا بنفش.....
- ۸۵..... ۱-۲-۴) بررسی تغییرات نسبت تری اتانول آمین به کادمیم.....
- ۸۶..... ۲-۲-۴) بررسی تغییرات دمای حمام.....
- ۸۶..... ۳-۴) بررسی مورفولوژی لایه ها با استفاده از تصاویر SEM.....
- ۸۸..... ۴-۴) بررسی طیف های EDX.....
- ۸۹..... ۴-۴) بررسی ساختار بلوری لایه نازک های کادمیم سلتید.....



فصل اول:

تئوری



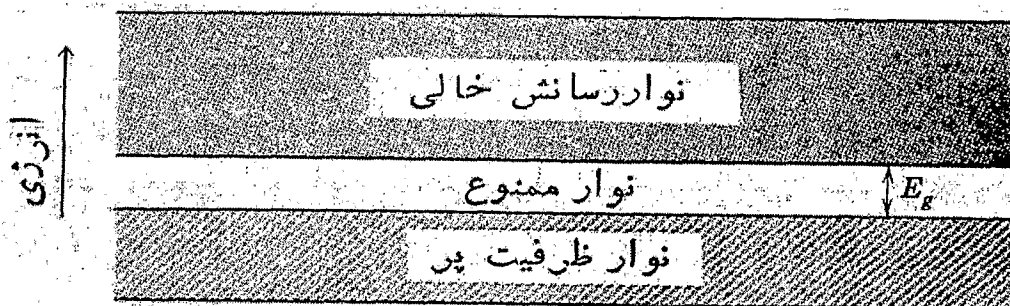
بخش اول:  
نیمه رساناها

## ۱-۱-۱) رسانایی الکتریکی در مواد

هر جامد دارای ساختار نوار انرژی خاص خود است. این تفاوت در ساختار نوار انرژی، منشاء خواص الکتریکی متنوعی است که در مواد مختلف مشاهده می شود. به طوری که، جامدات را بر اساس قابلیت هدایت الکتریکی آنها می توانیم به سه دسته طبقه بندی کنیم. فلزات که الکتریسیته را خیلی خوب هدایت می کنند ولی بر عکس، اجسام عایق این کار را نمی کنند. عایق ها ممکن است شامل مولکولهای کوچک مجزا از هم باشند. نظیر، فسفر تری یدید که در آن انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از یک مولکول و انتقال آن به مولکول دیگر به حدی زیاد است که پتانسیل های عادی بر آن بی اثرند. بیشتر جامدات یونی نارسانا هستند بالاخره جامداتی نظیر الماس و کوارتز که دارای تعداد بی شماری پیوند کووالانسی هستند، معمولا عایق های خوبی می باشند. سومین دسته جامدات مرکب از گروه معروف به نیمه رساناها است. اینها یا عناصری هستند که روی خط مرزی بین فلزات و غیر فلزات قرار دارند نظیر سیلیسیم، ژرمانیم یا ترکیباتی هستند که از این عناصر تشکیل شده اند نظیر گالیم آرسنید و یا ساختمانهای غیر استوکیو متری گوناگون و یا ناقصی دارند. از لحاظ خواص الکتریکی این اجسام بین رسانا ها و نارساناها (عایق ها) قرار گرفته اند [۴]. رسانایی مواد به ساختار نوار انرژی مربوط به باندهای هدایتی و ظرفیتی آنها بستگی دارد [۱]. یک طرح نواری الکترونی که به رسانایی منجر می شود در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. نوار رسانش در صفر درجه مطلق خالی است و به اندازه شکاف انرژی  $E_g$  از نوار ظرفیت فاصله دارد. شکاف نواری اختلاف انرژی بین پایین ترین نقطه نوار رسانش و بالاترین نقطه ظرفیت است. پایین ترین نقطه نوار رسانش

را لبه نوار رسانش می نامند و بالاترین نقطه در نوار ظرفیت به لبه نوار ظرفیت موسوم است [۵].

برای ایجاد جریان در بلور اگر یک میدان الکتریکی اعمال کنیم هیچ انتقالی نمی تواند در توزیع الکترونی صورت گیرد. مگر آنکه منطقه ها آنقدر بهم نزدیک باشند، که الکترونها واقع در قله بالاترین منطقه پر شده، بتواند با کسب انرژی اضافی کافی از شکاف انرژی ممنوع عبور کرده و حالت های انرژی مجاز ته منطقه بعدی را اشغال کنند. در مورد مواد عایق این شکاف انرژی در حدود چندین الکترون ولت است، برانگیزش به نوار بعدی نمی تواند به آسانی صورت گیرد. در نتیجه جریانی نمی تواند شارش کند. در مواد نیمه رسانا این شکاف انرژی خیلی بزرگ نیست در حدود ۱ الکترون ولت و یا قدری بیشتر و کمتر است تعداد کمی از الکترونها می توانند در دمای اتاق بر انگیزته و از شکاف انرژی عبور کنند. در نتیجه، جریان کوچکی می تواند شارش یابد [۳].



شکل (۱-۱): طرح نواری برای رسانایی ذاتی در نیمه رساناها

در فلزات نوارها یا همپوشانی کرده یا اینکه فقط بطور نسبی پر شده اند. بنابراین، الکترونها و حالت های خالی انرژی در درون نوارها در هم آمیخته اند به طوری که الکترونها می توانند آزادانه تحت تاثیر یک میدان الکتریکی حرکت کنند [۲].

## ۱-۱-۲) نیمه رساناها

مواد نیمه رسانا در صفر کلوین اساساً همان ساختار عایق ها را دارا هستند. یک نوار ظرفیت پر، که توسط یک شکاف انرژی فاقد هر گونه حالت مجاز انرژی، از نوار هدایت خالی جدا شده است. که اندازه شکاف  $E_g$  در نیمه رساناها خیلی کوچک تر از عایق هاست. ژرمانیم و سیلیسیم مهم ترین عناصر نیمه رسانا به شمار می آیند. اتم آزاد این عناصر در پوسته نیمه پر بیرونی (در حالت های  $s, p$ ) چهار الکترون دارند. در جامد، این اتم ها با چهار اتم دیگر (همسایه) پیوند کووالانسی دارند. ترازهای  $s, p$  مخلوط اند و یک نوار ظرفیت کاملاً پر را تشکیل می دهند. فاصله نوار رسانش تا نوار ظرفیتی در ژرمانیم  $0.75 \text{ eV}$  و در سیلیسیم  $1.1 \text{ eV}$  است [۳]. شکافهای انرژی نسبتاً کوچک در نیمه رساناها، امکان بر انگیزش الکترون ها از نوار پایینی (ظرفیت) به نوار بالایی (هدایت) را با مقدار کافی از انرژی نوری یا گرمایی فراهم می سازد [۲].

## ۱-۱-۳) رسانایی الکتریکی در نیمه رساناها

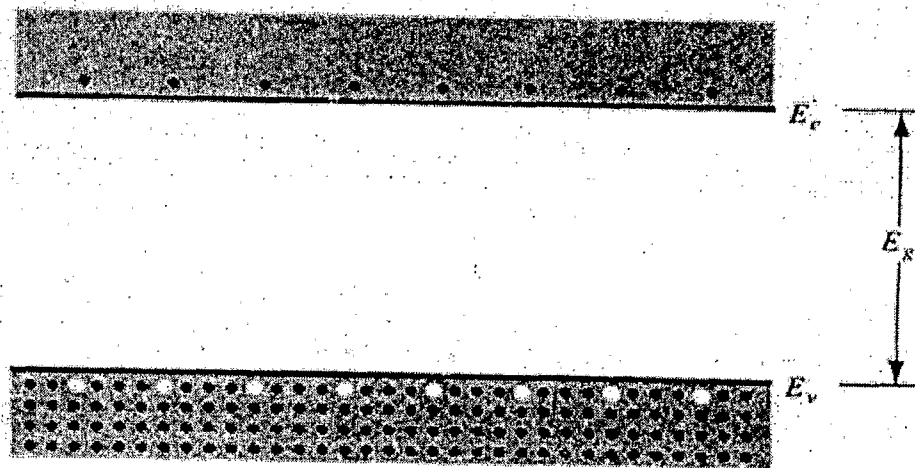
تجسم مکانیسم رسانش جریان در مورد یک فلز نسبتاً ساده است. اتم های فلز در دریایی از الکترون های نسبتاً آزاد فرورفته اند و این الکترون ها می توانند به صورت گروهی تحت تاثیر یک میدان الکتریکی حرکت کنند. این تصویر از الکترون های آزاد بیش از حد ساده است. ولی، بسیاری از خواص مهم هدایت در فلزات را می توان از همین مدل ساده استخراج کرد. در عین حال، همه خواص الکتریکی یک نیمه رسانا با این روش توجیه پذیر نیست. از آنجایی که نیمه رسانا در صفر درجه دارای یک نوار ظرفیت پر و یک نوار هدایت

خالی است، باید افزایش الکترون های نوار هدایت ناشی از برانگیختگی های گرمایی و عبور الکترونها از شکاف نوار را در موقع بالا رفتن دما در نظر بگیریم. به علاوه، پس از برانگیزش الکترون ها به نوار هدایت، حالت های خالی باقی مانده در نوار ظرفیت نیز می توانند در فرایند هدایت شرکت کنند. همچنین، وارد کردن ناخالصی ها اثر مهمی بر روی ساختار نوار انرژی دارد.

### ۱-۱-۴) الکترون ها و حفره ها

با بالا رفتن دمای یک نیمه رسانا از صفر کلوین، برخی از الکترون های نوار ظرفیت انرژی گرمایی کافی برای برانگیخته شدن به نوار هدایت را به دست می آورند. حاصل، ماده ای با تعدادی الکترون در یک نوار هدایت تقریباً خالی و تعدادی حالت اشغال نشده در یک نوار ظرفیت تقریباً پر است (شکل ۱-۲) برای سهولت، از یک حالت خالی در نوار ظرفیت به عنوان حفره یاد می شود. اگر الکترون نوار هدایت و حفره بر اثر برانگیختگی الکترون از نوار ظرفیت به نوار هدایت به وجود آیند، آن ها را زوج الکترون-حفره (یا به طور مخفف EHP)<sup>1</sup> می نامند. بعد از برانگیزش به نوار هدایت، الکترون توسط تعداد زیادی حالت انرژی اشغال نشده احاطه می شود. به عنوان مثال، تعداد حالت تعادل زوج های الکترون-حفره در سیلیسیم خالص در دمای معمولی تنها در حدود  $10^{10} \text{ EHP/cm}^3$  است. که در مقایسه با چگالی اتم سیلیسیم ( $10^{23} \text{ Atom/cm}^3$ ) بسیار اندک است. پس الکترون های کم تعداد در نوار هدایت، آزادانه می توانند از طریق تعداد زیادی حالت های خالی

موجود به اطراف حرکت کنند. مساله انتقال بار در نوار ظرفیت تا حدودی پیچیده تر است. با این وجود، می توان نشان داد که آثار جریان در یک نوار ظرفیت شامل حفره ها به سادگی با دنبال کردن رد حفره ها قابل توجیه است.



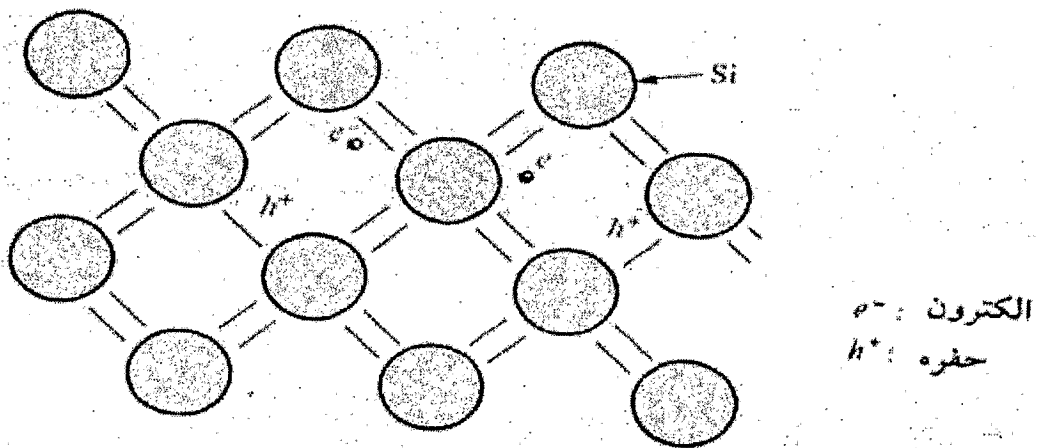
شکل (۲-۱) زوج های الکترون-حفره در یک نیمه رسانا

#### ۱-۱-۵) نیمه رساناهای ذاتی

یک بلور نیمه رسانای کامل و فاقد هر گونه ناخالصی یا نقائص بلوری، به نام نیمه رسانای ذاتی شناخته می شود. در چنین ماده ای، هیچ گونه انتقال دهنده بار در صفر کلومین وجود ندارد. زیرا نوار ظرفیت از الکترون ها پر شده و نوار هدایت، خالی است. در دماهای بالاتر با برانگیزش گرمایی الکترون های نوار ظرفیت به نوار هدایت زوج های الکترون-حفره تولید می شود. این EHP ها تنها باربرهای موجود در ماده ذاتی هستند. تولید EHP را می توان به روش کیفی و با در نظر گرفتن گسیختگی پیوند های کووالانس در شبکه بلور، در شکل (۳-۱) تجسم نمود. اگر یکی از الکترون های ظرفیت سیلیسیم از محل خود در



ساختمان پیوند کننده شده و بتواند آزادانه در شبکه حرکت کند، یک الکترون هدایت به وجود آمده و یک پیوند شکسته شده (حفره) باقی می ماند. انرژی لازم برای شکستن پیوند برابر با انرژی شکاف نوار  $E_g$  است. این مدل به تجسم مکانیسم فیزیکی تولید EHP کمک می کند ولی برای مقاصد محاسباتی کمی، مدل نوار انرژی سودمند تر است. یک



شکل (۱-۳): زوج های الکترون-حفره در مدل پیوند کووالانسی از بلور Si

مشکل مهم در مدل پیوند شکسته شده، این است که به طورگول زننده ای به نظر می رسد الکترون آزاد و حفره در فضاهای متعدد بین شبکه ای پخش شده در صورتی که باید به صورت مکانیک کوانتومی و با توزیع احتمالات در نظر گرفته شود. به دلیل تولید زوج الکترون ها و حفره ها، تراکم  $n$  از الکترون های نوار هدایت (تعداد الکترون ها در هر سانتی متر مکعب)، برابر با تراکم  $p$  از حفره هادر نوار ظرفیت (تعدادحفره هادر هر  $\text{cm}^3$ ) است. هریک از این تراکم باربرهای ذاتی را معمولاً با  $n_i$  نمایش می دهند. پس برای

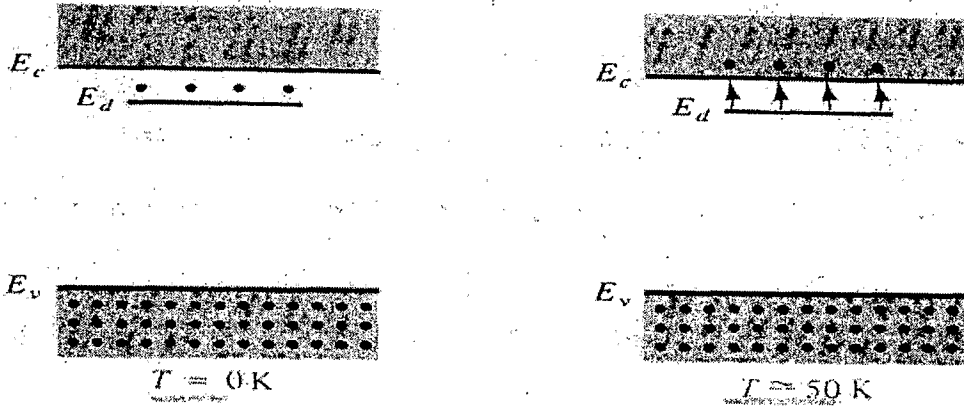
$$n = p = n_i \quad \text{ماده ی ذاتی:}$$

## ۱-۱-۶) نیمه رسانا های غیرذاتی

علاوه بر حامل های ذاتی تولید شده با گرما، می توان با وارد کردن تعدادی ناخالصی به بلور، باربرهای اضافی در نیمه رساناها بوجود آورد. این فرایند، موسوم به آلیش، متداول ترین روش برای تغییر رسانایی در نیمه رسانا هاست. با عمل آلیش می توان بلور را طوری تغییر داد که دارای اکثریتی از الکترون ها یا حفره هابشود. پس توسط آلیش دو نوع نیمه رسانا بوجود می آید: نوع  $n$  (اکثریت الکترونی) و نوع  $p$  (اکثریت حفره ای). هنگامی که بر اثر آلیش در یک بلور، تراکم حالت تعادل حامل های آن  $n^0$  و  $p^0$  با تراکم ذاتی حاملهای  $n_i$  تفاوت داشته باشد، گوئیم ماده غیرذاتی است. موقعی که ناخالصی یا نقص های شبکه در یک بلور تقریبا کامل وارد می شوند، ترازهای اضافی در ساختمان نوار انرژی و معمولا درون شکاف نوار ایجاد می شود. مثلا یک ناخالصی از ستون پنجم جدول تناوبی ( $Sb, As, P$ ) تولید یک تراز انرژی در نزدیکی نوار هدایت از  $Si$  یا  $Ge$  می کند. این تراز در صفر کلون توسط الکترون ها پر شده و انرژی گرمایی خیلی کمی برای برانگیختن این الکترونها به نوار هدایت لازم است (شکل ۱-۴). بنابراین در دماهای بیش از  $k = 100 - 50$  تمام الکترون ها در تراز ناخالصی در واقع به نوار هدایت بخشیده می شوند. یک چنین تراز ناخالص را تراز دهنده و ناخالصی های ستون پنجم در  $Si$  یا  $Ge$  را ناخالصی های دهنده می نامند. از شکل (۱-۴) مشخص است که ماده دارای ناخالصی های دهنده، می تواند حتی در دماهای خیلی کم که تراکم حامل های ذاتی  $EHP$  قابل توجه نیست، تراکم قابل ملاحظه ای از الکترونها در نوار هدایت داشته باشد.

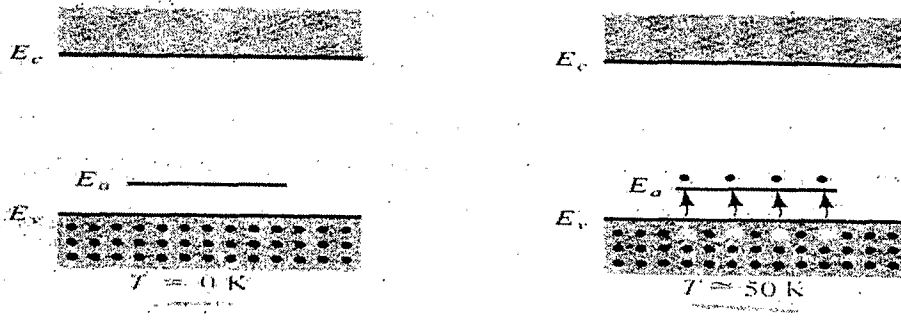
بنابراین نیمه رساناهای ناخالص شده، با تعداد قابل توجهی اتم دهنده دارای  $n^0 \gg (n_i, p^0)$  دردمای معمولی بوده و یک ماده نوع  $n^0$  محسوب می شوند.

اتم های ستون سوم (In, Ga, Al, B) در Ge یا Si، ترازهای ناخالصی در نزدیکی نوار ظرفیت بوجود می آورند شکل (۵-۱). در دمای پایین، الکترون های نوار ظرفیت، انرژی گرمایی کافی برای رفتن به تراز ناخالصی و برجای گذاشتن حفره هایی در نوار هدایت را دارا هستند. از آنجایی که این تراز ناخالصی الکترونها را از نوار ظرفیت می پذیرد، به آن



شکل (۵-۱): بخشش الکترون ها از یک تراز دهنده به نوار هدایت

تراز گیرنده و ناخالصی های ستون سوم را ناخالصی های گیرنده یا پذیرنده در Ge یا Si می نامند همانطور که شکل (۵-۱) نشان می دهد، آرایش بوسیله ناخالصی های پذیرنده، می تواند یک نیمه رسانا با تراکم حفره ( $p^0$ ) خیلی بیشتر از تراکم الکترون های نوار هدایت ( $n^0$ ) بوجود آورد (که یک ماده نوع ( $p^0$ ) نامیده می شود) [۳].



شکل (۱-۵): پذیرش الکترون های نوار ظرفیت توسط یک تراز پذیرنده و تولید حفره

های حاصل از آن