٦٥٧٥٩

دانشگاه تربیت معلّم تهران

دانشکده شیمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد شیمی

رشته شیمی فیزیک

عنوان

بررسی نظری پیلهای خورشیدی و راندمان آنها

استاد راهنما :

دکتر غفار متدین اول

دانشجو :

افسانه اسماعیلی

۱۳۸۷ /۳/ ۱۱

شهریور ۱۳۸۶

۹۵۷۵۹

تقدیم به پدر و مادرم

چشمانتان زلال چون آسمان است.

نگاهتان نورانی چون آفتاب، دستانتان سخاوت ابر است

و کلامتان ترنم باران، بر دستان خسته تان بوسه می زنم

و پاس می دارم عشق و محبتی را که سالها نثارم کردید.

تقدیر و تشکر

چه شیرین است بوسیدن دستهایی که ذکات آگاهی را آموزش آن می دانند و چه بایسته است و سزاوار، به راه آن دسته از شیفتگان دانش رفتن، که آتش آگاهی بر گذر تنگ و تاریک جهل می افروزند و این همان آموزه ای است که دست دهش آدمی را به اندازه آرزوهایش در بذر دانش بزرگ می سازد و به راستی که شما بزرگواران در راه پر افت و خیز طلب علم دست هدایتی بودید که سختی راه را آسان و انگیزه ها را پررنگ تر می کرد و کمترین قدردانی در برابر آن همه شرح صدر که در طول این راه با شما بود، آنست که از زحمات بی شائبه شما بزرگواران یاد کنم.

گرامی میدارم شما را جناب آقای دکتر غفار متدین اول، بدلیل حمایت، همراهی و راهنماییهای دانشورانه- تان که در تمام این مسیر همراه من بود.

از شما می آموزم داوری را جناب آقای دکتر فرهنگ سهیلیان،که چگونه می شود نگاهی گرم و پرتسامح داشت و هیچ کس را وامدار خویش نساخت.

همچنین مراتب ادب و امتنان خود را از شما جناب آقای دکتر شفیعی که بر من منت گذاشته و داوری این رساله را به عهده گرفته اید، ابراز می دارم.

در پایان از زحمات و صبوری واحد آموزش و مسئولین دانشکده شیمی سپاسگزاری می کنم.

۱۳۸۷ /۳/ ۱۱

فهرست | صفحه

فصل اول : بحث کلی پیلهای خورشیدی ۱

فصل دوم : بررسی کلی نیمه رساناها ۸

فصل سوم : اصول کار پیلهای خورشیدی ۴۳

فصل چهارم : پیل خورشیدی با پیوند P-N ۹۲

فصل پنجم : پیل خورشیدی با اتصال M-S یا دیود شاتکی ۱۲۳

فصل ششم : نتیجه گیری ۱۴۴

منابع ۱۴۶

چکیده:

در این رساله هدف بررسی ساختار پیل های خورشیدی، اصول و مکانیسم کار آنها، محاسبه راندمان و بررسی عوامل موثر بر کارکرد آنها می باشد. بدین منظور پس از نگاه کلی به عملکرد سیستم پیل های خورشیدی و معرفی چند نوع از آنها، نگاهی به خواص اساسی نیمه هادی ها انداخته شده است. سپس سلول خورشیدی به عنوان واحد دریافت کننده انرژی نورانی خورشیدی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی محور بحث قرار گرفته است.. دراین راستا جذب نور، تولید حاملهای بار و بازترکیب آنها، پیوند p-n، پیوند M-S وعوامل موثر در بازده پیلهای خورشیدی تشریح گردیده است. پیلهای خورشیدی ساخته شده ازمواد نیمه رسانای با شکاف مستقیم که فتونهای مجاور سطح پیل را جذب می کنند برای پیلهای لایه نازک مناسبترند . از آنجا که ساخت پیلهای خورشیدی p-n پرهزینه می باشد می توان به جای آن پیلهای خورشیدی فلز – نیمه رسانا و یا فلز –عایق – نیمه رسانا تهیه کرد که از نظر اقتصادی مناسب تر است . تنها مشکل این سلول ها پایین بودن کارآیی و عدم ثبات منحنی جریان – ولتاژ آنها به دلیل تغییر در ساختار عایق با گذشت زمان است .در این رساله تنها به بررسی دو نوع از این پیلها و مقایسه آنها پرداخته شده است که عبارتند از : p-n junction , M-S junction.

فصل اول:

بحث کلی پیلهای خورشیدی

۱-۱- مقدمه

۱-۲- سیستمهای پیل خورشیدی چگونه کار می کنند؟

۱-۳- انواع پیلهای خورشیدی

۱ -۴-کارایی پیل خورشیدی

۱-۱- مقدمه

پیلهای خورشیدی وسائلی هستند که تابش نور خورشید بر آنها سبب آزاد شدن بارهای الکتریکی در آنها شده که پس از عبور از یک نیمه هادی به یک مصرف کننده برقی مثل یک لامپ روشنائی یا موتور می رسند. پدیده تولید ولتاژ و جریان با این روش اثر فتوولتایی نامیده می شود . [۱].سوخت پیلهای خورشیدی یعنی نور خورشید، بسیار فراوان و مجانی است . شدت نور خورشید در سطح زمین حداکثر یک هزار وات بر متر مربع است .[۱]. به این ترتیب مساحتی که پیلها در یک سیستم تولید توان فتو ولتایی به خود اختصاص می دهند نسبتاً زیاد است و هزینه آن را باید جزو هزینه الکتریسیته تولید شده در نظر گرفت .مقایسه هزینه تولید یک واحد الکتریسیته توسط سیستمهای فتو ولتایی با سایر منابع تولید قدرت با احتساب هزینه تأمین وسائل ، نصب و راه اندازی عامل موثری در استفاده یا عدم استفاده از این سیستم ها است .هم اکنون پیلهای خورشیدی، رقیب سایر منابع انرژی بشمار می روند . با افزایش هزینه تولید انرژی از منابع متداول و نیز کاهش هزینه پیلهای خورشیدی که مسبب آن پیشرفتهای تکنولوژیک و تولید انبوه آنهاست ، امید می رود بازار پیلهای خورشیدی رونق بیشتری یابد . اولین عامل اقتصادی که همان بالارفتن هرینه تولید توان از منابع متداول کنونی ، مخصوصاً مواردی که سوختهای فسیلی را به کار میبرند می باشند ، لاینقطع ادامه دارد و علت آن تا حدی محدود بودن منابع سوختی فسیلی است . عامل دوم یعنی کاهش هزینه تولید الکتریسیته سیستمهای خورشیدی نتیجه تحقیقات وسیع و کوششهای جهانی امروزی است .

برای این که پیلهای خورشیدی از نظر اقتصادی جاذبه پیدا کنند باید یک یا چند مورد از موارد زیر عملی شود : الف – بازده پیلها افزایش یابد .

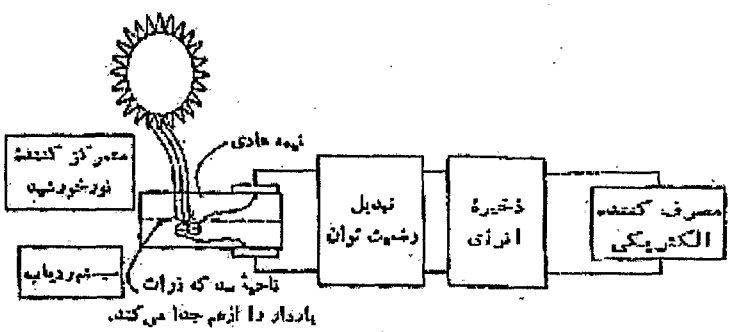
ب – هزینه تولید پیلها ، مدولها و تجهیزات مربوط به آنها و نیز هزینه نصب آنها کاهش یابد. ج – طرح های جدیدی در مورد پیلها یا سیستمهای خورشیدی ابداع شود تا هزینه کلی هر واحد تولیدی الکتریسیته کمتر شود .

ج – طرح های جدیدی در مورد پیلها یا سیستمهای خورشیدی ابداع شود تا هزینه کلی هر واحد تولیدی الکتریسیته کمتر شود .

۱-۲- سیستمهای پیل خورشیدی چگونه کار می کنند ؟

مهمترین فرآیند های فیزیکی که در پیلهای خورشیدی رخ می دهد به طور ساده در شکل ۱-۱ نشان داده شده اند. نور خورشید بر نیمه هادی می تابد و یک الکترون و یک حفره ایجاد می کند . الکترون و حفره مذکور که به ترتیب یک ذره بار دار منفی و مثبت می باشند هر دو در حرکت می باشند .این ذرات در درون نیمه هادی پراکنده می شوند و سرانجام به یک سد انرژی بر خورد می کنند که به ذرات باردار با یک نوع علامت اجازه عبور می دهند ولی مانع عبوز ذرات مخالف آن می شوند .

به این ترتیب ذرات باردار مثبت در محل تماس بالایی شکل ۱-۱ و ذرات با بار منفی در محل تماس پائینی جمع می شوند . جریانهای الکتریکی پدید آمده از این مجموعه باردار توسط سیمهای فلزی به مصرف کننده الکتریکی که در سمت راست شکل ۱-۱ نشان داده شده است منتقل می شود .



شکل۱-۱-طرح نمایش عناصر کاربردی یک سیستم پیل خورشیدی

جریان تولید شده ممکن است بطور مستقیم به مصرف کننده برسد یا این که ابتدا توسط یک دستگاه تبدیلی وضعیت توان به یک جریان متناوب با سطح ولتاژ و جریانی متفاوت نسبت به ولتاژ و جریان تولیده شده توسط پیل ، تبدیل شود.

سیستمهای فرعی دیگری را نیز می توان به کار برد که عبارتند از : وسائل ذخیره کننده انرژی مانند باتریها و نیز آیینه ها یا عدسیهای متمرکز کننده که نور خورشید را بر روی پیلهای نیمه هادی کوچکتر و در نتیجه کم هزینه تر متمرکز می کنند .اگر از وسائل متمرکز کننده استفاده شود باید برای ثابت نگه داشتن جهت مجموعه آنها به سوی خورشید در طول روز یک سیستم فرعی ردیابی استفاده کرد .

۱-۳- انواع پیلهای خورشیدی

با نگاهی اجمالی به کتب منتشر شده اخیر در می یابیم که طرحهای مختلف و مواد گوناگونی برای پیلهای خورشیدی دردست مطالعه است . این حالت در مراحل ابتدائی توسعه یک کار فنی ، هنگامی که راههای مختلفی برای رسیدن به جواب دنبال می شود ، متداول است . در ضمن ، علیرغم این موضوع که اثر فتو ولتایی از سال ۱۸۳۹ میلادی شناخته شده است، ولی کاربرد زمینی پیلهای خورشیدی در تولید انرژی کاملاً جدید است . استفاده از پیلهای خورشیدی سیلیسیومی اولین بار در سال ۱۹۵۴ در مجله ها و نوشته ها عنوان شد و از آن به بعد از پیلهای خورشیدی در اکثر سفینه های فضائی که به فضا پرتاب شدند استفاده شد . [۱]

گرچه جزئیات مربوط به انواع پیلهای خورشیدی در بر گیرنده فیزیک حالت جامد ، شیمی و علم شناخت مواد است ، نکات بسیار ساده ای درباره انواع پیلهای خورشیدی صادق و قابل ذکر است :

الف – چون سیلیسیم (Si) بطور گسترده در مدارهای مجتمع (ic) بکار رفته است ، فن ساخت آن کاملاً طبیعی است ، در حالی که روشهای دیگر در دست مطالعه و توسعه اند .

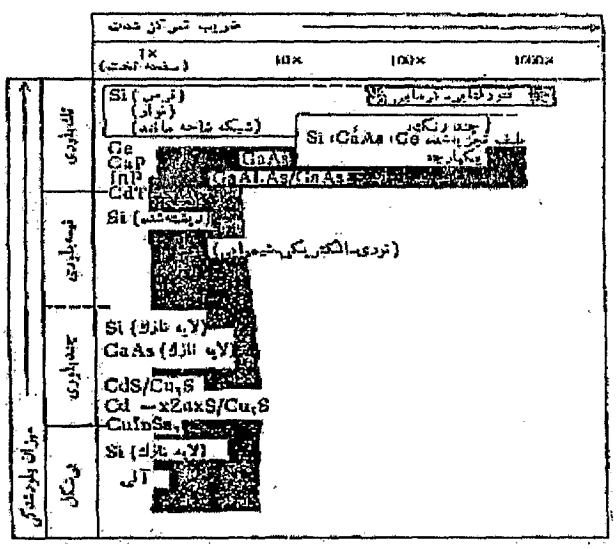
ب – ساخت پیلهای چند بلوری یا پیلهائی بصورت لایه های نازک بجای پیلهای تک بلوری ممکن است هم از نظر ریالی و هم از نظر انرژی مصرف شده در مراحل تولید بسیار اقتصادی باشد، زیرا برای ساخت پیلهای تک بلوری به حرارت شدید ، رشد دقیق بلور و نیز برش احتیاج است .

ج- از آنجا که هزینه ساخت آینه ها و عدسیهای متمرکز کننده نسبت به اکثر نیمه هادی ها بسیار کمتر است ، استفاده از سیستمهای « متمرکز کننده » که در آنها نور خورشید بر روی پیلهای نسبتاً کوچک نیمه هادی متمرکز می شود مقرون به صرفه است .

د- چون پیلها را می توان طوری طراحی کرد که با نور تکفام کار کنند ، شاید بصرفه باشد طیف را تجزیه کنیم و قسمتهای مختلف آن را که برای مولفه های آن طیفها مناسبترند بر روی پیلها بتابانیم («پیل با طیف تجزیه شده » یا « پیل چند رنگ ») .

ه – چون میزان تابش نور خورشید و نیاز به انرژی ، پیوسته در نوسان است ، پیلهائی که خاصیت ذاتی ذخیره سازی انرژی به روش الکترولیز را دارند ممکن است جالب توجه باشند. («نوری –الکتریکی – شیمیائی ») .

نمونه پیلهایی که در شکل ۱-۲ آورده شده اند بر طبق ماده و شکل نیمه هادی به کار رفته در آن و میزان تمرکز نور خورشید مرتب شده اند. برخی از ویژگی های ماده اصلی یا ویژگیهای طرح پیل را نیز در این شکل ذکر کرده ایم .



شکل ۱-۲-انواع پیلهای خورشیدی که طبق میزان بلورشدگی نیمه رسانا و میزان تمرکز خورشید (درصورت بکار برده شدن)مرتب شده اند.

پیلهایی که به تعداد زیاد تولید می شوند از سیلیسیوم تک بلوری ساخته شده انـد و بـدون متمرکـز کـردن نـور خورشید به کار می روند (قسمت چپ وبالای شکل ۱-۲) . پیلهای سیلیسیومی را از قرصهائی که از شمـشهای بزرگ تک بلوری بریده شده اند و از نوارهای نازک یا تارهای کم ضخامت سیلیکون که احتیاجی به برش ندارنـد تهیه می کنند .

از میان سایر موارد پیلهای تک بلوری که مورد مطالعه قرار گرفته است ، ترکیب نیمه هـادی آرسـنید- گـالیوم (GaAs) بیش از همه در آزمایشها بکار می رود و این بدلیل بازده زیاد و توان کارکرد آن در دماهای زیاد اسـت . در سیستم پیلهای متمرکز کننده ، هر دو ماده سیلیسیوم و آرسنید- گالیوم به کار رفته است . شـکل پیلهـای متمرکز کننده (پیلهای « صفحه تخت ») مورد اسـتفاده متفـاوت اسـت. پیلهـای متمرکـز کننـده بایـد تحمـل دماهای زیادتری را داشته باشند و بدلیل جریانهای نسبتاً زیاد ترشان دارای اتلاف مقاومت کمتری باشند .

چون در پیلهای از نوع «طیف تجریه شده » از چندین پیل استفاده می شود ،انتظار می رود برای دسـتیابی بـه یک سیستم کم هزینه ، اینگونه پیلها را در مراحل اولیه با آیینه ها و عدسی های متمرکز کننده بـه کـار ببرنـد. پیل متمرکز کننده دیگری که در آن از طریق دگرگونی طیفی می توان بـه بـازده زیـادی دسـت یافـت، پیـل « فتوولتایی – گرمائی » است . این پیل در تابشی با طول موج نسبتاً بلند از یک صفحه کـه توسـط نـور متمرکـز شده خورشید حرارت می بیند روشن می شود .

اکثر پیلها از اتصالهای به اصطلاح p-n استفاده می کنند، یعنی دو ناحیه مجاور یک نیمه رسانا مانند سیلیسیوم با ناخالصیهای متفاوت و بنابراین خصوصیات الکتریکی مختلفی دارند . یـک سـاختار دیگـر ، پیـل سـد کننـده شاتکی نام دارد که درآن بجای یکی از نواحی نیمه هادی پیل دارای اتصال p-n ، یک لایه نازک و نسبتاً شـفاف فلزی قرار داده شده است .طرح امید بخش دیگری برای پیلهای خورشیدی ارائه شده است که عـلاوه بـر مـوارد فوق، یک لایه عایق بسیار نازک بین فلز مذکور و نیمه رسانا قرار می دهند که تشکیل ساختار ((فلز – عـایق – نیمه رسانا)) (MIS) یا ((فلز- اکسید- نیمه رسانا)) (MOS) می دهد .

پیلهای چند بلوری معمولاً نسبت به پیلهای تک بلوری متداول هزینه تولید مواد کمتری دارند.روشهای دیگری برای ساخت شمشهای تک بلوری ارائه شده است . این روشها شامل پیلهائی با رشد لایه ای با لبه های مشخص (EFG) و پیلهایی دارای یک شبکه شاخه مانند است . پیلهای ورقه ای نازک که در آن یک لایه نیمه رسانا بر روی یک پایه رسوب داده شده است شامل پیلهای تجاری سولفید – کادمیوم (که در واقع بین لایه های سولفید - کادیوم و سولفید- مس دارای اتصال نوع p-n هستند) و پیلهائی است که از لایه های نازک نیمه رساناهای غیر متبلور و بی شکل تهیه شده اند.

پیلهای آزمایشی که از عناصر آلی ساخته شده اند نیز در دست بررسی است.معادلات نشان می دهد که می توان پیلهایی ورقه ای نازک ساخت که از نظر بازده و قیمت آنقدر مناسب باشند که از آنها بتوان به عنوان پیل مطلوب در کاربردهای زمینی استفاده کرد .

۱-۴- کارایی پیل خورشیدی

با در نظر گرفتن میزان تولید یک نیروگاه مرکزی جدید که مثلاً ۱۰۰۰ مگاوات است ، تولید سالانه پیلهای خورشیدی سراسر جهان در حال حاضر فقط چند مگاوات است که بسیار ناچیز بنظر می رسد . چه دلائلی وجود دارد که تصور پیلهای خورشیدی در تولید انرژی جهان در چند دهه آینده سهم مهمی خواهند داشت ؟

اول آنکه در این مورد ، نباید صرفاً براساس کل بازده انرژی قضاوت کرد . حتی یک پیل خورشیدی که مقدار ۱۰۰ وات انرژی الکتریکی تولید می کند از نظر ساکنان میلیونها روستای کوچک در سراسر دنیا اهمیت فوق العاده دارد ، زیرا از آن طریق الکتریسته برای پمپاژ آب ، سرد کردن منازل و ارتباط با دنیای اطرافشان مهیا می شود .

دوم آنکه تولید انرژی از طریق فتوولتائی ، مشکلاتی را که نیروگاه های اتمی با سوخت فسیلی با آن روبرو هستند، مشکلاتی از قبیل افزایش هزینه های سوختی ، دفع مواد زائد ، برطرف ساختن حرارت پدید آمده ، موارد بسیار مهم ایمنی و حفاظت و پتانسیل تغییر آب وهوا به علت رها کردن دی اکسید کربن در هوا را ندارد.

سوم آنکه سیستمهای فتو ولتائی طبق اندازه های معین ساخته می شوند و می توان آنها را در نقاطی نزدیک محل بهره برداری نصب کرد و در صورت نیاز بیشتر به الکتریسیته ، بلافاصله آنها را وارد مدار کرد . این مزایای ذاتی بعلاوه تجربه ها و اقداماتی که در باره کاهش هزینه سیستم پیلهای خورشیدی صورت گرفته ، سبب می شود پیلهای خورشیدی درتولید انرژی جهان سهم بسزائی داشته باشند .

فصل دوم:

بررسی کلی نیمه رساناها

۲-۱- مواد نیمه رسانا

۲-۲- ساختمان کریستالی

۲-۳- پیوندهای ظرفیت

۲-۴- نوارهای انرژی

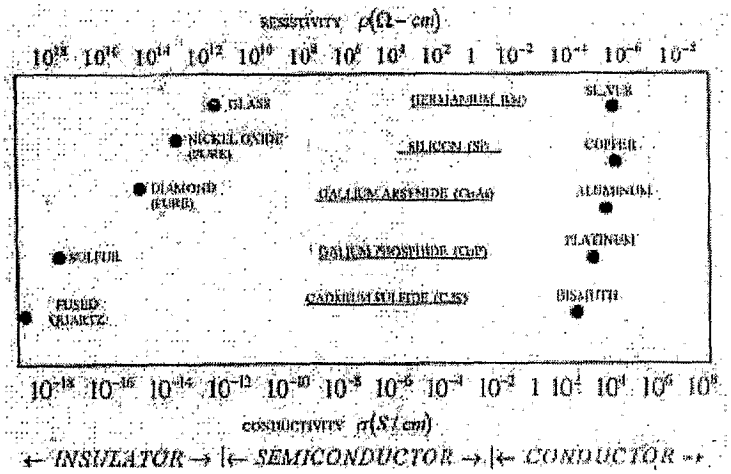
۲-۵- چگالی حالتها

۲-۶- دهنده ها و پذیرنده ها

در این فصل خواص اساسی نیمه رساناها بررسی می شود.مطلب با بررسی ساختمان کریستالی که آرایش اتمها در یک نیمه رسانا است شروع می شود ، سپس مفاهیم پیوندهای ظرفیت و نوارهای انرژی که به هدایت نیمه رساناها مربوط می شود مورد بررسی قرار می گیرد . سرانجام مفهوم غلظت حاملها را در شرایط تعادل حرارتی مورد بحث قرار می دهیم .

۲-۱- مواد نیمه رسانا :

مواد حالت جامد به سه دسته عایقها ، نیمه رساناها و رساناها تقسیم می شوند . در شکل (۲-۱) ضریب رسانندگی الکتریکی σ (و مقاومت ویژه، $\rho \equiv 1/\sigma$) موادی از هر سه گروه فوق ملاحظه شود . [۲]



شکل۲-۱-محدوده ضریب رسانندگی الکتریکی عایقها ، نیمه رساناها و رساناها

عایقهائی مانند کوارتز مذاب و شیشه دارای ضریب رسانندگی در حدود $۱۰^{-۱۸}$ تا 10^{-8} s/cm و رساناهایی مانند آلومینیوم و نقره دارای رسانندگی بالا از $۱۰^{۴}$ تا 10^{6} s/cm هستند . نیمه رساناها از نظر رسانندگی بین عایقها و رساناها می باشند.رسانندگی نیمه رساناها به حرارات ، روشنائی و تابندگی ،میدان مغناطیسی و مقادیر جزیی اتمهای ناخالصی حساس هستند.این حساسیت رسانندگی سبب شده است که نیمه رساناها یکی از مهمترین مواد در کاربردهای الکتریکی باشند.

مطالعه نیمه رساناها در اوایل قرن نوزدهم آغاز شد . در طی سالها نیمه رساناهای مختلفی مورد مطالعه قرار گرفت . در جدول (۲-۱) جدول تناوبی مربوط به نیمه رساناها ملاحظه می شود . عنصر نیمه رسانا که در آنها سیلیسیوم (سیلیکون) و ژرمانیوم بکار رفته است در ستون IV ملاحظه می شود . در این نیمه رساناها فقط یک عنصر بکار رفته است . نیمه رساناهایی نیز وجود دارند که درآنها از دو یا چند عنصر استفاده می شود . مثلاً گالیوم آرسناید (GaAs) یک ماده مرکب گروه III-V است ، یعنی درآن ترکیبی از گالیوم (Ga) از ستون III و آرسنیک (As) از ستون V استفاده شده است . در جدول (۲-۲) لیست برخی از عناصر و نیمه رساناهای مرکب را ملاحظه می کنید .[۲]

جدول۲-۱- قسمتی از جدول تناوبی مربوط به نیمه رساناها

Period	ColumnII	III	IV	V	VI
2		B Boron	C Carbon	N Nitrogen	
3	Mg Magnesium	Al Aluminum	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur
4	Zn Zinc	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium
5	Cd Cadmium	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium
6	Hg Mercury		Pb Lead		

جدول۲-۲- نیمه رساناهای مرکب و ساده(عنصری)

Element	IV–IV Compounds	III–V Compounds	II–VI Compounds	IV–VI Compounds
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge		AlSb	CdSe	PbTe
		BN	CdTe	
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnTe	
		InAs		
		InP		
		InSb		

قبل از اختراع ترانزیستور دو قطبی در ۱۹۴۷ ، نیمه رساناها فقط بعنوان وسائل با دو ترمینال مورد استفاده قرار می گرفتند، مانند یکسو کننده ها و فتو دیودها(دیودهای نورانی). در اوایل سال ۱۹۵۰ ژرمانیم مهمترین ماده نیمه رسانا شناخته شد . بهر حال ، ثابت شد که ژرمانیم در بیشتر کاربردها مناسب نیست زیرا که مواد و وسائل دارای ژرمانیم در دمای اندکی بالا ، جریان نشست بالائی از خودشان نشان می دهند . گذشته از این اکسید ژرمانیم در آب حل شده و برای ساخت بیشتر عناصر مناسب نیست.در اوایل سال ۱۹۶۰سیلیکون جانشین عملی ژرمانیوم شد. دلیل عمده برای استفاده از سیلیکون در ساخت وسائل نیمه رسانا جریان نشست پائین آن و دیگری امکان تهیه دی اکسید سیلیکون به روش رشد حرارتی با کیفیت بالا می باشد .

البته دلائل اقتصادی نیز وجود دارد . هزینه ساخت وسائل سیلیکون بسیار کم هزینه تر از دیگر وسائل است . سیلیکون به شکل سیلیکا و سیلیکات ۲۶ درصد پوسته زمین را تشکیل می دهد و از نظر فراوانی ، سیلیکون بعد از اکسیژن قرار دارد .

اکنون ، سیلیکون یکی از عناصر جدول تناوبی است که بیش از هر عنصر دیگری مورد مطالعه قرار گرفته است . تکنولوژی سیلیکون در بین تکنولوژیهای موجود نیمه هادی ها از همه پیشرفته تر است . بیشتر نیمه هادیهای مرکب داری خواص الکتریکی و نوری که در سیلیکون یافت نمی شود هستند .این نیمه رساناها ، بویژه گالیوم آرسناید (GaAs) عمدتاً در کاربردهای فتونی و کهموج بکار می روند . اگر چه اطلاعات ما در مورد تکنولوژی نیمه رساناهای مرکب مانند خود سیلیکون نیست ولی تکنولوژی نیمه رساناهای مرکب به علت پیشرفتهای حاصل در تکنولوژی سیلیکون پیشرفته می باشد . ما عمدتاً با فیزیک نیمه رساناها و فرآیند تکنولوژی سیلیکون و گالیم آرسناید سرو کار خواهیم داشت.

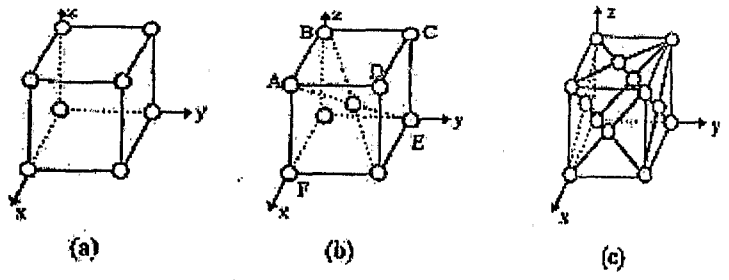
۲-۲ – ساختمان کریستالی :

مواد نیمه رسانا که در اینجا مورد مطالعه قرار می گیرد تک کریستالی هستند . اتمها ، به یک شکل تناوبی سه بعدی هیچگاه از محل ثابت خود زیاد دور نمی شوند . ارتعاشات حرارتی مربوط به اتم در همین محل متمرکز می شود . برای یک نیمه رسانای معین ، سلول واحدی وجود دارد که نماینده کل شبکه است. با تکرار این سلول واحد در طول کریستال مشاهده می کنید . در شکل ۲a یک کریستال مکعبی ساده نشان داده شده است که هر گوشه مکعبی بوسیله یک اتم ، می توانیم شبکه کامل کریستالی را تولید کنیم . در شکل (۲-۲) برخی از سلولهای واحد کریستالی مکعبی اساسی را مشاهده می کنید . در شکل ۲a یک کریستال مکعبی ساده نشان داده شده است که هر گوشه مکعبی بوسیله یک اتم اشغال شده است و هر اتم دارای شش اتم همسایه با فاصله مساوی می باشد . بعد a را ثابت شبکه می گویند . فقط پولونیم دارای شبکه مکعبی ساده است. در شکل ۲b کریستال مکعبی مرکز حجم پر (bcc) را مشاهده می کنید که گذشته از هشت اتم گوشه، یک اتم نیز در مرکز مکعب قرار دارد. در شبکه bcc هر اتم داری هشت اتم همسایه نزدیک به خود است . سدیم و تنگستن دارای کریستال با شبکه bcc می باشند . در شکل ۲c کریستال شبکه مکعبی مرکز رخ پر (fcc) را مشاهد می کنید که علاوه بر هشت اتم در گوشه دارای یک اتم در مرکز هر یک از وجوه مکعب است و در شبکه fcc هر اتم دارای ۱۲ اتم به عنوان اولین همسایه خود است . عناصر زیادی از جمله آلومینیوم ، مس ، طلا و پلاتین دارای شبکه fcc هستند.

اگر کره های سخت را در شبکه bcc قرار دهیم بطوریکه هر اتم در مرکز با اتمهای گوشه ای مکعب تماس داشته باشد حجم سلول واحد bcc را که با این کره های سخت پرشده است بدین صورت پیدا می کنیم :

هر اتم (کره) در سلول واحد bcc با ۸ سلول مجاور خود مشترک است ،بنابراین هر سلول واحد دارای یک اتم کره در هر هشت گوشه خود است . گذشته از این هر سلول واحد دارای یک کره در مرکز خود است .

۲ = (مرکز)۱+ (در گوشه)۱= تعداد کره ها (اتم ها) در سلول واحد



شکل ۲-۲-سه واحد کریستالی مکعبی،(a)مکعبی ساده،(b)مکعبی مرکز پر (bcc)،

(c)مکعبی مرکز رخ پر (fcc)

$a\frac{\sqrt{3}}{2}$ (در طول قطر AE در شکل b 2)= فاصله با نزدیک ترین اتم همسایه

حجم هر کره= $\frac{4}{3}\pi\left(a\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^3=\frac{\pi a^3\sqrt{3}}{16}$

جز بیشینه از سلول واحد که پر شده است:

حجم کل سلول واحد/حجم هر کره× تعدادکره ها = $\frac{\times\pi a^3\sqrt{3}/16}{a^3}=\pi\sqrt{\frac{3}{8}}=0.68$

بنابراین ۶۸٪ حجم سلول واحد bcc با اتمها پرشده و ۳۲٪ حجم آن خالی است .