

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه الزهرا (س)

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

جهت اخذ درجه دکتری

رشته فیزیک گرایش ماده چگال

عنوان

ساخت نانوساختار ZnO به روش افشانه داغ و بررسی خواص

اپتوالکترونیکی آن

استاد راهنما

دکتر رضا ثابت داریانی

استاد مشاور

دکتر سید محمد روضاتی

دانشجو

فهیمه زاهدی

شهریور ماه ۱۳۹۱

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به
دانشگاه الزهرا (س) است.

تقدیم به:

آنان که نور وجودشان روشنایی بخش مسیر زندگی ام بود.

اگرچه مرا یارای سپاس از پروردگار نیست، اما به رسم ادب با تمام وجود او را سپاسگزارم که در تمامی لحظات زندگی پناهم بود و آرزو دارم لطف خاصش را تا همیشه‌ی زندگی‌ام از من دریغ ندارد.

از تمام کسانی که تاکنون در فعالیت‌های علمی‌ام نقش داشته‌اند سپاسگزارم. به ویژه از اساتید محترم جناب آقای دکتر داریانی (استاد راهنما) و جناب آقای دکتر روضاتی (استاد مشاور) که تجربیات، راهنمایی و دانش علمی و عملی ایشان انجام پروژه را تسهیل می‌نمود تشکر می‌کنم. از اساتید محترم جناب آقای دکتر نیما تقوی‌نیا، آقای دکتر محمدرضا محمدی‌زاده، آقای دکتر عبدالله مرتضی‌علی و آقای دکتر وحید دادمهر که زحمت مطالعه و داوری پایان‌نامه را بر عهده داشتند سپاسگزارم.

از دوست بسیار عزیزم خانم دکتر مرجان رجبی که در تمامی مراحل انجام پروژه از همفکری، تجربه و همکاری سخاوتمندانه ایشان بهره‌بردم قدردانی می‌کنم. از دانشجویان آزمایشگاه فیزیک سطح و لایه‌های نازک به ویژه خانم دکتر سعیده رضانی و خانم مطهره عین‌اله زاده تشکر می‌کنم.

در پایان از پدر و مادر مهربانم که تمامی موفقیت خود را مرهون دعای خیرشان هستم و همچنین از برادرانم که در دوران تحصیل از حمایت‌های بی‌دریغشان بهره‌مند شدم بی‌نهایت سپاسگزارم.

چکیده

در این پژوهش رشد و مشخصه یابی و آشکارسازی نوری لایه های اکسید روی مورد بررسی قرار گرفت. رشد لایه های اکسید روی به روش افشانه داغ و با استفاده از دو نوع محلول اولیه شامل کلرید روی و استات روی دوآبه انجام شد. اثر غلظت محلول اولیه، دمای لایه نشانی، آلیش نیتروژن و نوع دستگاه تولید ذرات ریز محلول اولیه بر رشد و مشخصه های لایه های اکسید روی رشد یافته با هر یک از محلول اولیه کلرید روی و استات روی دوآبه مورد مطالعه قرار گرفت. مشخصه های بلوری، ریخت شناسی لایه، عبور نوری، نورتایی، مقاومت الکتریکی، نوع رسانندگی و همچنین آشکارسازی نوری لایه ها تحت تابش فرابنفش ۳۲۵nm بررسی شد. استفاده از محلول اولیه کلرید روی منجر به رشد میله های اکسید روی بر زیرلایه شیشه می شود. افزایش غلظت محلول اولیه در این لایه ها باعث افزایش طول میله ها و کاهش عبور نوری در لایه می شود. تغییر دمای زیرلایه در محدوده ۴۰۰°C تا ۵۵۰°C، رشد میله ها را در دمای بالای ۵۰۰°C نشان می دهد. افزایش دما از ۵۰۰°C به ۵۵۰°C باعث کاهش قطر و افزایش طول میله ها می شود. افزایش دمای زیرلایه، کاهش عبور نوری در ناحیه مرئی و افزایش مقاومت الکتریکی لایه را به دنبال دارد. بررسی رسانندگی نوری فرابنفش میله های اکسید روی در دمای ۵۰۰°C نشان می دهد که پاسخ نوری لایه در ۵۷ V، ۰/۱۲ A/W است. آلیش نیتروژن میله های اکسید روی با نسبت اتمی متفاوت N/Zn در دمای زیرلایه ۵۰۰°C انجام شد. میله های اکسید روی با رسانندگی نوع p در نسبت اتمی ۲ و N/Zn=۱ به دست می آید. غلظت حفره در N/Zn=۱، $10^{16} \times 1/36 \text{ cm}^{-3}$ است. طیف نورتایی لایه های تهیه شده از محلول کلرید روی دارای یک قله گسیل در ناحیه فرابنفش و دو قله گسیل آبی و سبز در ناحیه مرئی است. طیف پراش اشعه ایکس نشان می دهد که رشد لایه های آلاینده و غیر آلاینده تهیه شده از محلول اولیه کلرید روی به صورت چندبلوری و در ساختار هگزاگونال وورتزیت است. رشد ترجیحی بلور در راستای محور c است. لایه هایی که از محلول اولیه استات روی دوآبه تهیه شدند شامل دانه هایی هستند که اندازه آنها با افزایش غلظت محلول اولیه افزایش می یابد. انرژی گاف لایه ها با افزایش غلظت از ۳/۳۷ eV برای ۰/۱M به ۳/۱۹ eV برای ۰/۴ M کاهش پیدا می کند. اندازه گیری مقاومت الکتریکی لایه ها کمترین مقاومت ویژه ($2/09 \Omega \cdot \text{cm}$) را برای لایه ۰/۳ M نشان داد. پاسخ نوری لایه ها به تابش فرابنفش در ۵۷ V در محدوده ۰/۰۸۶ A/W تا ۰/۲۸۷ A/W است. تغییر دمای زیرلایه نشان می دهد که لایه های اکسید روی در دمای بیشتر از ۲۰۰°C تشکیل می شوند. مطالعه تصاویر FESEM از سطح لایه هایی که در دمای متفاوت رشد کرده اند نشان می دهد که سازوکار رشد لایه در دمای بالاتر از ۴۰۰°C به صورت CVD است. این لایه ها دارای عبور نوری بالا در ناحیه مرئی هستند. کمترین مقاومت سطحی مربوط به لایه ای است که در دمای ۴۰۰°C رشد کرده است. استفاده از نیولایزر پزشکی باعث رشد لایه ضخیم تر و با اندازه دانه بلوری بیشتری می شود. پیوندگاه نامتجانس ZnO/p-Si از رشد لایه اکسید روی بر زیرلایه p-Si به دست می آید. این پیوندگاه دارای رفتار یکسوسازی است. پاسخ نوری پیوندگاه در ۵۷- به تابش فرابنفش، کمتر از پاسخ رساننده های نوری لایه اکسید روی بر زیرلایه شیشه است ولی سرعت پاسخ نوری آن بیشتر از رساننده های نوری است. پیوندگاه p-ZnO/p-Si از رشد لایه ZnO:N به عنوان لایه اکسید روی نوع p بر زیرلایه Si ایجاد می شود. این پیوندگاه دارای رفتار یکسوساز وارون است. پاسخ دیود نوری

p-ZnO/p-Si در ۵V از ZnO/p-Si در ۵V- بیشتر و برابر 0.125 A/W است. همچنین بیشترین سرعت پاسخ در این پژوهش مربوط به پیوندگاه p-ZnO/p-Si است. جریان دیود نوری این پیوندگاه در پی اعمال (قطع) تابش فرابنفش در ۵V در مدت زمان کمتر از ۱ s به ۹۰٪ (۱۰٪) مقدار اشباع افزایش (کاهش) می یابد.

واژه های کلیدی: میله های اکسید روی، لایه های اکسید روی، پیوندگاه نامتجانس، افشانه داغ، آشکارساز نوری.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل ۱: مروری بر رشد لایه های نازک به روش افشانه داغ و آشکارسازهای نوری
۱	۱. لایه نشانی به روش افشانه داغ
۴	۱.۱. اثر عوامل مؤثر در لایه نشانی به روش افشانه داغ
۴	۱.۱.۱. اثر دما
۶	۱.۱.۲. اثر محلول اولیه
۷	۱.۱.۳. مدل های لایه نشانی در افشانه داغ
۸	۱.۲. تبدیل محلول اولیه به ذرات ریز
۹	۱.۲.۱. انتقال ذرات ریز
۱۰	۱.۲.۲. تجزیه محلول اولیه
۱۱	۲. مشخصات الکتریکی
۱۲	۱.۲.۱. روش پروب دو نقطه ای و پروب چهار نقطه ای
۱۴	۲.۲.۱. روش ون در پاو
۱۵	۳.۲.۱. اثر هال
۱۶	۳. آشکارسازهای نوری
۱۸	۱.۳.۱. کمیت های مشخصه آشکارسازهای نوری
۱۸	۱.۳.۱.۱. بازده کوانتومی و بهره
۱۹	۲.۱.۳.۱. پاسخگویی
۱۹	۳.۱.۳.۱. سرعت پاسخ
۲۰	۲.۳.۱. رساننده نوری

۲۲	۳.۳.۱ دیودهای نوری
۲۳	۱.۳.۳.۱ دیودهای نوری p-i-n
۲۴	۲.۳.۳.۱ دیودهای نوری p-n
۲۵	۳.۳.۳.۱ دیودهای نوری پیوند نامتجانس
۲۵	۴.۳.۳.۱ دیودهای نوری فلز - نیمرسانا (سد شاتکی)

فصل ۲: مروری بر خواص اکسید روی

۲۸	۱.۲ مقدمه
۳۰	۲.۲ ساختار بلوری
۳۲	۳.۲ ساختار نواری
۳۳	۴.۲ نقص ها در ساختار اکسید روی
۳۶	۵.۲ نورتایی
۳۸	۶.۲ آلایش ZnO
۳۹	۱.۶.۲ آلایش نوع n
۴۱	۲.۶.۲ آلایش نوع p
۴۲	۱.۲.۶.۲ مقایسه آلاینده های گروه I و V
۴۳	۲.۲.۶.۲ ناخالصی های (پذیرنده) گروه V
۴۴	۳.۲.۶.۲ آلایش مشترک
۴۵	۳.۶.۲ آلایش با عناصر گروه IV
۴۵	۷.۲ آشکارساز نوری

فصل ۳: رشد و مشخصه یابی لایه های نازک اکسید روی تهیه شده از محلول

کلرید روی

۴۸	۳.۱ مقدمه
۵۰	۳.۲ چینش ابزارهای لایه نشانی
۵۲	۳.۳ حلال
۵۳	۳.۴ اثر غلظت محلول اولیه بر مشخصات لایه ZnO
۵۴	۳.۴.۱ مطالعه ریخت شناسی
۵۷	۳.۴.۲ مطالعه ساختار بلوری
۵۸	۳.۴.۳ مطالعه طیف عبوری
۶۱	۳.۴.۴ نورتایی
۶۲	۳.۵ اثر دما بر مشخصات لایه ZnO
۶۳	۳.۵.۱ مطالعه ریخت شناسی و ساختار بلوری لایه ها
۶۶	۳.۵.۲ مطالعه عبور نوری
۶۸	۳.۵.۳ نورتایی
۶۹	۳.۵.۴ مطالعه مشخصه های الکتریکی
۷۱	۳.۵.۵ مطالعه رسانندگی نوری
۷۳	۳.۶ آرایش لایه های اکسید روی با نیتروژن
۷۴	۳.۶.۱ مطالعه مشخصه های الکتریکی
۷۸	۳.۶.۲ مطالعه طیف XPS
۸۰	۳.۶.۳ مطالعه ریخت شناسی و ساختار بلوری لایه ها
۸۲	۳.۶.۴ مطالعه طیف عبوری

فصل ۴: رشد، مشخصه یابی و رسانندگی نوری لایه های نازک اکسید روی تهیه

شده از محلول استات روی دوآبه

- ۸۶ ۱.۴ مقدمه
- ۸۷ ۲.۴ کمیت های مؤثر در لایه نشانی
- ۹۰ ۱.۲.۴ اثر غلظت محلول اولیه بر مشخصات لایه ZnO
- ۹۱ ۱.۲.۴ مطالعه ریخت شناسی
- ۹۲ ۲.۱.۲.۴ مطالعه ساختار بلوری
- ۹۵ ۳.۱.۲.۴ مطالعه طیف عبوری
- ۹۷ ۴.۱.۲.۴ نورتایی
- ۹۹ ۵.۱.۲.۴ مقاومت الکتریکی
- ۱۰۰ ۶.۱.۲.۴ رسانندگی نوری
- ۱۰۳ ۲.۲.۴ دما
- ۱۰۴ ۱.۲.۲.۴ مطالعه ریخت شناسی سطح
- ۱۰۷ ۲.۲.۲.۴ مطالعه ساختار بلوری
- ۱۰۹ ۳.۲.۲.۴ مطالعه مشخصه های نوری
- ۱۱۳ ۴.۲.۲.۴ مشخصه های الکتریکی
- ۱۱۴ ۳.۲.۴ تغییر چینش ابزارهای لایه نشانی
- ۱۱۶ ۱.۳.۲.۴ مشخصه های ساختاری
- ۱۱۸ ۲.۳.۲.۴ مطالعه آشکارسازی نوری
- ۱۱۹ ۳.۳.۲.۴ بهینه سازی پیوندگاه نانوميله Si/ZnO

فصل ۵: ساخت و بررسی آشکارساز نوری پیوندگاه های $n\text{-ZnO/p-Si}$ و $p\text{-ZnO/p-Si}$

ZnO/p-Si

۱۲۱	۵. ۱ مقدمه
۱۲۲	۵. ۲ پیوندگاه $n\text{-ZnO/p-Si}$
۱۲۲	۵. ۲. ۱ رشد لایه غیرآلاییده ZnO بر زیرلایه Si
۱۲۳	۵. ۲. ۲ مشخصه ساختاری
۱۲۴	۵. ۲. ۳ ریخت شناسی
۱۲۵	۵. ۲. ۴ نورتابی
۱۲۵	۵. ۲. ۵ مشخصه های الکتریکی
۱۲۶	۵. ۲. ۶ آشکارساز نوری
۱۲۹	۵. ۳ پیوندگاه $p\text{-ZnO/p-Si}$
۱۳۰	۵. ۳. ۱ مشخصه های الکتریکی
۱۳۲	۵. ۳. ۲ ساختار بلوری
۱۳۳	۵. ۳. ۳ ریخت شناسی
۱۳۴	۵. ۳. ۴ نورتابی
۱۳۶	۵. ۳. ۵ آشکارساز نوری فرابنفش پیوندگاه نامتجانس ZnO:N/p-Si

۱۴۱ فصل ۶ خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات

فهرست جدول ها

- ۳۴-۱. ترازهای انرژی محاسبه شده برای نقص های مختلف در اکسید روی.
- ۳۸-۲. مکان قله و علت پیشنهادی آن در طیف نورتایی اکسید روی در دمای اتاق.
- ۴۳-۳. طول پیوند با نزدیکترین همسایه و تراز انرژی نقص.
- ۵۶-۱. مشخصات ساختاری لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۶۴-۲. ثابت های شبکه لایه های ZnO در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۷۵-۳. مشخصات الکتریکی لایه های ZnO رشد یافته با نسبت اتمی N/Zn متفاوت.
- ۸۱-۴. ثابت های شبکه لایه های ZnO:N با نسبت اتمی N/Zn متفاوت.
- ۸۹-۱. مقاومت سطحی، عبور در طول موج ۵۵۰ nm و شاخص شایستگی لایه های رشد یافته با فاصله نازل تا زیرلایه متفاوت.
- ۹۰-۲. مقاومت سطحی، عبور در طول موج ۵۵۰ nm و شاخص شایستگی لایه های رشد یافته با حجم محلول اولیه متفاوت.
- ۹۴-۳. مشخصات ساختاری لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۹۹-۴. مقاومت ویژه و تخلخل لایه های اکسید روی با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۱۰۲-۵. نسبت جریان نوری به جریان تاریک، جریان تاریک و پاسخ نوری لایه های اکسید روی.
- ۱۰۹-۶. مشخصه های ساختار لایه های اکسید روی رشد یافته در دمای زیرلایه متفاوت.

فهرست شکل ها

- ۱-۱. نمایی از چینش در روش افشانه داغ. ۳
- ۲-۱. طرح واره ای از ۴ حالت ممکن در لایه نشانی به روش افشانه داغ بر اساس دمای زیرلایه. ۶
- ۳-۱. نمایی برای اندازه گیری مقاومت. ۱۲
- ۴-۱. نمایی از هندسه قرار گرفتن پروب ها با اندازه گیری به روش الف) پروب دو نقطه ای،
(ب) پروب چهار نقطه ای. ۱۳
- ۵-۱. نمایی از شکل ون در پایو برای اندازه گیری مقاومت سطحی. ۱۵
- ۶-۱. نمایی از شکل ون در پایو در اندازه گیری ولتاژ هال. ۱۶
- ۷-۱. سازوکار متفاوت در آشکارساز نوری الف) ذاتی، که نور با انرژی $h\nu \geq E_g$ جذب می شود.
(ب) غیرذاتی، که تراز عمیق در آن وارد می شود و نور با انرژی $h\nu < E_g$ جذب می شود. ۱۷
- ۸-۱. الف) نمودار نمادین از یک رساننده نوری شامل باریکه ای از یک نیمرسانا و دو اتصال اهمی.
(ب) طرح اتصال اهمی بر روی یک لایه نیمرسانا. ۲۱
- ۹-۱. الف) نمایی از سطح مقطع یک دیود نوری p-i-n. (ب) نمودار نوار انرژی در پیش ولت مخالف.
(ج) نمودار تولید حامل بار. ۲۴
- ۱۰-۱. نمودار نوار انرژی تعادلی پیوندگاه نامتجانس n-InAs/n-GaAs (a-d) ترازهای انرژی مختلف
مربوط به جذب نور با انرژی های مختلف. ۲۷
- ۱-۲. الف) ساختار بلوری ورتزیت اکسید روی، (ب) یک زیرشبکه در ساختار ورتزیت اکسید روی. ۳۲
- ۳-۱. چینش مورد استفاده در لایه نشانی به روش افشانه داغ. ۱. تقنگ پاشنده، ۲. ورود هوای فشرده
از فشرده کننده هوا توسط شلنگ، ۳. گرمکن و ۴. کنترل کننده الکترونیکی دما. ۵۱
- ۳-۲. الف) نمونه تهیه شده از محلول آبی، (ب) نمونه تهیه شده از محلول آب و متانول. ۵۳
- ۳-۳. تصاویر FESEM سطح لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه الف) ۰/۱ M،
(ب) ۰/۲ M (ج) ۰/۳ M و د) ۰/۴ M. ۵۵
- ۴-۳. تصاویر FESEM جانبی از لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه الف) ۰/۱ M،

- ۵۶ (ب) $0.3M$ و (ج) $0.4M$.
- ۵۸ ۵-۳. الگوی پراش اشعه ایکس برای لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۵۹ ۶-۳. طیف عبور نوری لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۶۱ ۷-۳. طیف نورتابی در دمای اتاق برای لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۶۳ ۸-۳. الگوی پراش اشعه ایکس لایه های ZnO در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۶۵ ۹-۳. تصاویر FESEM سطح لایه های ZnO در دمای زیرلایه الف) $400^{\circ}C$ ، ب) $450^{\circ}C$ ، ج) $500^{\circ}C$ و د) $550^{\circ}C$.
- ۶۵ ۱۰-۳. تصاویر FESEM سطح لایه های ZnO در دمای زیرلایه الف) $500^{\circ}C$ و ب) $550^{\circ}C$.
- ۶۷ ۱۱-۳. طیف عبور نوری لایه های ZnO در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۶۸ ۱۲-۳. طیف نورتابی در دمای اتاق با تحریک 325 nm مربوط به لایه های ZnO در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۶۹ ۱۳-۳. آرایش قرار گرفتن نوار مسی بر روی لایه برای اندازه گیری مقاومت سطحی.
- ۷۱ ۱۴-۳. نمایی از نحوه قرار گرفتن نمونه در مدار اندازه گیری مشخصه I-V.
- ۷۲ ۱۵-۳. الف) مشخصه جریان تاریک-ولتاژ لایه اکسید روی در دمای زیرلایه $500^{\circ}C$ و ب) نمودار جریان نوری-ولتاژ همان لایه.
- ۷۳ ۱۶-۳. نمودار جریان-زمان رسانندگی نوری لایه اکسید روی در ولتاژ اعمال شده 5 V .
- ۷۹ ۱۷-۳. طیف XPS لایه ZnO:N با نسبت اتمی $N/Zn=1$ ، ب) قله مربوط به $N1s$.
- ۷۹ ۱۸-۳. نحوه قرار گرفتن $(N)_O$ در ساختار وورتزیت ZnO.
- ۸۰ ۱۹-۳. طیف پراش اشعه ایکس لایه های ZnO آلاینده با نیتروژن با نسبت اتمی N/Zn متفاوت.
- ۸۲ ۲۰-۳. تصاویر FESEM سطحی لایه های ZnO با نسبت اتمی N/Zn الف) ۰، ب) $0/5$ ، ج) ۱، د) ۲ و ۳.
- ۸۳ ۲۱-۳. عبور نوری لایه های ZnO با نسبت اتمی N/Zn متفاوت.
- ۸۴ ۲۲-۳. نمودار $(\alpha hv)^2$ بر حسب hv برای لایه های غیر آلاینده ZnO و N:ZnO با نسبت N/Zn متفاوت.
- ۸۵ ۲۳-۳. طیف نورتابی لایه های N:ZnO با تحریک 325 nm .

- ۹۲-۴. ۱. تصاویر FESEM سطح لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه الف) 0.1 M ،
 ب) 0.2 M ، ج) 0.3 M و د) 0.4 M .
- ۹۳-۴. ۲. الگوی پراش اشعه ایکس برای لایه های ZnO رشد یافته با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۹۵-۴. ۳. طیف عبور نوری لایه های اکسید روی با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۹۷-۴. ۴. منحنی تغییرات $(h\nu\alpha)^2$ بر حسب $h\nu$ برای لایه های اکسید روی با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۹۸-۴. ۵. طیف نورتابی در دمای اتاق برای لایه های ZnO با غلظت محلول اولیه متفاوت.
- ۱۰۰-۴. ۶. مشخصه جریان-ولتاژ لایه های اکسید روی الف) در تاریکی و ب) تحت تابش.
- ۱۰۳-۴. ۷. نمودار جریان-زمان لایه اکسید روی تهیه شده از محلول 0.3 M .
- ۱۰۴-۴. ۸. تصاویر FESEM سطح لایه های اکسید روی رشد یافته در دمای زیرلایه الف) 200°C ،
 ب) 300°C ، ج) 400°C ، د) 450°C و ه) 500°C . شش ضلعی و بیضی به ترتیب پولک
 هگزاگونال و دانه را نشان می دهند.
- ۱۰۵-۴. ۹. الگوی پراش اشعه ایکس لایه های اکسید روی رشد یافته در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۱۱۰-۴. ۱۰. طیف عبور نوری لایه های ZnO در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۱۱۱-۴. ۱۱. منحنی تغییرات $(h\nu\alpha)^2$ بر حسب $h\nu$ برای لایه های اکسید روی رشد یافته در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۱۱۲-۴. ۱۲. طیف نورتابی در دمای اتاق با تحریک 325 nm مربوط به لایه های ZnO در دمای زیرلایه متفاوت.
- ۱۱۳-۴. ۱۳. چپش مورد استفاده در لایه نشانی به روش افشانه داغ. ۱. نبولایزر پزشکی، ۲. خروج هوای فشرده از نبولایزر، ۳. مخزن محلول اولیه در نبولایزر، ۴. محل خروج ذرات ریز محلول اولیه،
 ۵. گرمکن و ۶. کنترل کننده الکترونیکی دما.
- ۱۱۴-۴. ۱۴. الگوی پراش اشعه ایکس لایه اکسید روی که توسط نبولایزر رشد یافته است.
- ۱۱۷-۴. ۱۵. تصویر FESEM از سطح لایه اکسید روی که توسط نبولایزر رشد یافته است.
- ۱۱۸-۴. ۱۶. مشخصه I-V در تاریکی و تحت تابش مربوط به لایه رشد یافته توسط نبولایزر.

- ۱۱۹ ۴-۱۷. منحنی تغییرات جریان- زمان در پی اعمال و حذف تابش فرابنفش.
- ۱۲۰ ۴-۱۸. تصویر FESEM جانبی ساختارهای گل کلمی افشاندن شده بر میله های اکسید روی.
- ۱۲۴ ۵-۱. الگوی پراش اشعه ایکس لایه ZnO غیرآلاییده بر زیرلایه p-Si.
- ۱۲۴ ۵-۲. تصویر FESEM الف) سطح و ب) سطح مقطع لایه ZnO غیرآلاییده بر زیرلایه p-Si.
- ۱۲۶ ۵-۳. طیف نورتابی پیوندگاه نامتجانس ZnO/p-Si با تابش ۳۲۵ nm.
- ۵-۴. الف) نمودار I-V در تاریکی و تحت تابش پیوندگاه ZnO/p-Si و ب) نمودار I-V تاریک و تحت تابش همان پیوندگاه در ولتاژ منفی.
- ۱۲۷ ۵-۵. نمایی از قرار گرفتن پیوندگاه ZnO/p-Si در مدار اندازه گیری I-V در شرایط پیش ولت مستقیم.
- ۱۲۷ ۵-۶. نمودار تغییرات جریان-زمان رساننده نوری لایه ZnO بر زیرلایه p-Si با اعمال و قطع تابش فرابنفش (۳۲۵ nm).
- ۱۳۳ ۵-۷. الگوی پراش اشعه ایکس لایه ZnO:N.
- ۱۳۴ ۵-۸. تصویر FESEM الف) سطح و ب) سطح مقطع لایه ZnO:N.
- ۱۳۵ ۵-۹. طیف نورتابی لایه ZnO:N/p-Si تحت تابش ۳۲۵ nm.
- ۱۳۶ ۵-۱۰. نمودار I-V لایه p-ZnO رشد یافته بر زیرلایه p-Si.
- ۱۳۷ ۵-۱۱. منحنی جریان- زمان لایه p-ZnO رشد یافته بر زیرلایه p-Si.
- ۱۳۸ ۵-۱۲. نمودار I-V در تاریکی و تحت تابش (۳۲۵ nm) پیوندگاه p-ZnO/p-Si.
- ۱۳۹ ۵-۱۳. نمودار نوار انرژی پیوندگاه p-ZnO/p-Si در تعادل.
- ۱۴۰ ۵-۱۴. نمودار تغییرات جریان-زمان پیوندگاه p-ZnO/p-Si با اعمال و قطع تابش فرابنفش (۳۲۵ nm).

فصل ۱

مروری بر رشد لایه های نازک به روش افشانه داغ و

آشکارسازهای نوری

۱. لایه نشانی به روش افشانه داغ

تاکنون روش های لایه نشانی زیادی برای ایجاد لایه های نازک و نانوساختارها مورد استفاده قرار گرفته است. این روش ها را می توان بر اساس فرآیند لایه نشانی به دو گروه عمده فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد. لایه نشانی بخار فیزیکی (PVD)^۱، کند و پاش^۲، برآراستی پرتو مولکولی^۳ و انباشت یونی^۴ از جمله روش های لایه نشانی فیزیکی هستند. در حالی که لایه نشانی بخار شیمیایی (CVD)^۵، افشانه داغ^۶ و سل-ژل^۷ از روش های لایه نشانی شیمیایی

¹ Physical Vapor Deposition

² Sputtering

³ Molecular Beam Epitaxy

⁴ Ion Plating

⁵ Chemical Vapor Deposition

⁶ Spray Pyrolysis

⁷ Sol-Gel

می‌باشند. روش های شیمیایی به دلیل سادگی و مقرون به صرفه بودن بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند.

در بین روش های لایه نشانی، روش افشانه داغ برخلاف بسیاری از روش های لایه نشانی، روشی ساده و مقرون به صرفه است. سادگی ابزار، قابلیت تولید در مقیاس وسیع (که در کاربردهای صنعتی مطلوب است)، سرعت زمان تولید، قابلیت انعطاف در مراحل تهیه و عدم نیاز به خلأ بالا و زیرلایه با کیفیت بالا به عنوان مزیت های این روش، علاقه زیادی به استفاده از آن را به خود جلب نموده است [۱]. علاوه بر این، افشانه داغ یک روش بسیار ساده برای آلاینش لایه است و عنصری که برای آلاینش در نظر گرفته شده است را می توان به هر نسبتی به محلول اولیه اضافه کرد. همچنین با تغییر پارامترهای لایه نشانی می توان ضخامت لایه های تولید شده با این روش را به راحتی کنترل نمود. در این روش برخلاف روش های با توان بالا مانند کندوپاش مگنترون فرکانس رادیویی، گرمای موضعی ایجاد نمی شود (گرما می تواند برای مواد لایه نشانی شده زیان آور باشد) [۲].

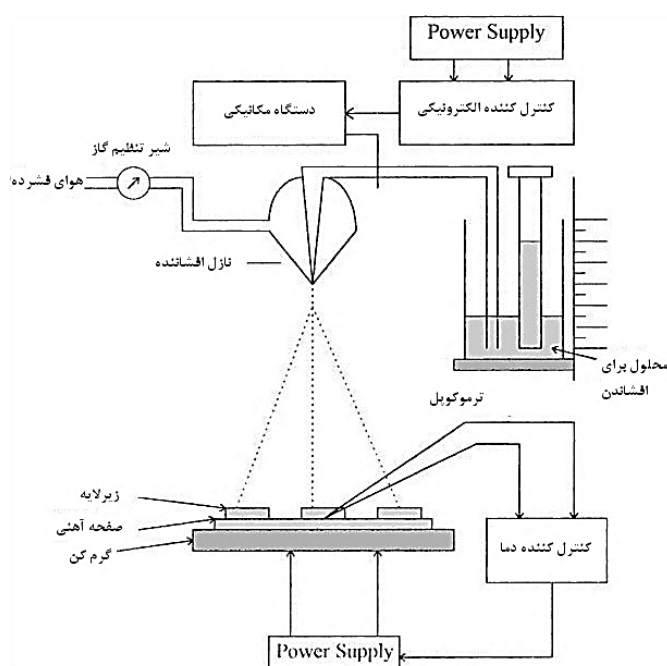
اولین بار چمبرلین^۸ و اسکارمن^۹ در سال ۱۹۶۶ روش افشانه داغ را برای لایه سولفید کادمیوم (CdS) در سلول خورشیدی به کار بردند [۳]. از آن زمان این روش به دلیل مزایای ذکر شده برای تهیه لایه های نازک و ضخیم و لایه های چگال یا متخلخل، پوشش های سرامیکی، لایه های اکسید ابررسانا و تولید پودر به کار می رود. حتی فیلم های چندلایه به راحتی با استفاده از این روش قابل تولید است. به عنوان مثال می توان لایه های SnO_2 ، TiO_2 و CuO را به ترتیب به عنوان لایه های نیم رسانای نوع n، i و p به ترتیب با تغییر محلول اولیه مورد استفاده روی زیر لایه به روش افشانه داغ، لایه نشانی نمود و یک پیوندگاه n-i-p ایجاد کرد که می توان از آن به عنوان آشکارساز فرابنفش استفاده نمود [۱ و ۴].

⁸ Chamberlin

⁹ Skarman

افشانه داغ به عنوان یک روش ارزان و ساده دارای کاربردهای زیادی از جمله تکنولوژی سلول خورشیدی (لایه ضد انعکاسی، اکسیدهای رسانای شفاف و لایه های جاذب)، حسگرهای گازی، آنود برای باتری های لیتیوم-یون و قطعات اپتوالکترونیک است و سال ها در صنعت شیشه مورد استفاده قرار گرفته است [۵ و ۶].

اجزا اصلی در یک چینش برای روش افشانه داغ عبارتند از: نازل^{۱۰}، محلول اولیه، گرم کننده^{۱۱}، کنترل کننده دما، فشرده کننده^{۱۲} هوا و تنظیم کننده^{۱۳} فشار هوا. شکل ۱-۱ نمایی کلی از یک چینش متداول در روش افشانه داغ را نشان می دهد.



شکل ۱-۱ نمایی از چینش در روش افشانه داغ [۷].

- ¹⁰ Nozzle
- ¹¹ Heater
- ¹² Compressor
- ¹³ Regulator