به نام آفریدگار شادمانگی

باشد که گامی شود در راه داشتن زمینی سبزتر و هوایی پاک‌تر

تقدیم به مادر بی مانند و پدر مهربانم

با سپاس فراوان از پشتیبانی های علمی، مالی و مدیریت حرفه ای جناب آقای دکتر قلی پور در راهبرد این پژوهش

و با قدردانی از زحمات بی دریغ و ایده های راهگشای جناب آقای احسانی

دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی خواص اپتیکی لایه های نازک نانو بلور تلورید کادمیوم

توسط:

فاطمه حسینی سیانکی

استاد راهنما

دکتر حمید رضا قلی پور دیزجی

استاد مشاور

بهمن ۱۳۹۰

دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

تحت عنوان

بررسی خواص اپتیکی لایه های نازک نانوبلور تلورید کادمیوم

ارائه شده توسط:

فاطمه حسینی سیانکی

در تاریخ ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱- استاد راهنما	دکتر حمید رضا قلی پور دیزجی
۲- استاد داور داخلی	دکتر مصطفی فضلی
۳- استاد مدعو	دکتر رضا افضل زاده

Semnan University

Faculty of Science

Physics Department

Master of Science

Subject

Investigation on optical properties of nanocrystalline Cadmium Telluride thin films

by

Fatemeh Hosseini Siyanaki

Supervisor

Hamid Rezagholipour Dizaji

February 2012

بررسی خواص اپتیکی لایه های نازک نانوبلور تلورید کادمیوم

چکیده

در این پژوهش ابتدا لایه های نازک، روش های لایه نشانی و کاربردهای آن معرفی می شوند. فصل دوم به بررسی ویژگی های اپتیکی لایه های نازک نیمرسانا و روش های اندازه گیری های آن می پردازد. در فصل سوم خواص فیزیکی ماده تلورید کادمیوم معرفی می گردد. خواص اپتیکی لایه های نازک نانوبلور CdTe که توسط سایر همکاران آزمایشگاه لایه نازک دانشکده فیزیک دانشگاه سمنان به روش تبخیر حرارتی در فشار خلاء 10^{-6} mbar بر روی زیر لایه شیشه توسط دستگاه Hind Hi Vac (15F6) رشد داده شده بود، در فصل چهارم مطالعه می شود. تاثیر تغییر در شرایط رشد همچون دمای زیر لایه، ضخامت، استفاده از لایه نشانی خراشان (GLAD) و چگونگی هدایت شار بخار بر استوکیومتری و خواص اپتیکی لایه ها از جمله میزان عبور، بازتاب، ضریب جذب، ضریب خاموشی، ضخامت بحرانی، ضریب شکست، ثوابت دی الکتریک، گاف نواری و اندازه دانه در این فصل مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این شرایط رشد بهینه برای کاربرد در سلول های خورشیدی معرفی شده اند. دستیابی به اندازه دانه هایی از حدود ۲۰ تا ٤٠ نانومتر منجر به انتقال گاف نواری به انرژی های بالاتر به جهت اثر حبس کوانتومی شده است. اندازه نانو دانه ها با استفاده از مدل نواری سهموی (HBM) و تقریب جرم موثر (EMA) تخمین زده شده و با تصاویر FESEM مقایسه گردیده اند. فصل آخر به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای مطالعات آتی می پردازد.

واژه های کلیدی: لایه نازک، تلورید کادمیوم، خواص اپتیکی، ضخامت، دمای زیرلایه، کنترل شار بخار، لایه نشانی خراشان

فهرست مندرجات

۱. معرفی لایه نازک، روش های لایه نشانی و کاربرد های آن

۱-۱ لایه های نازک و کاربردهای آن ۱

۱-۲ روش های ساخت لایه نازک..... ٤

۱-۲-۱ روش های فیزیکی..... ٤

۱-۲-۱-۱ تبخیر..... ٥

۱-۲-۱-۲ کندوپاش..... ٦

۱-۲-۱-۳ رونشانی خراشان ٦

۱-۲-۲ روش های شیمیایی ۸

۱-۳ مکانیسم شکل گیری لایه نازک..... ۸

۱-٤ اثر عوامل مختلف بر ساختار نهایی لایه..... ۱۲

۲. ویژگی های اپتیکی لایه های نازک نیمرسانا

۲-۱ ویژگی های اپتیکی مواد..... ۱٤

۲-۱-۱ ثوابت اپتیکی: ضریب جذب، ضریب خاموشی و ضریب شکست ۲۰

۲-۱-۲ ویژگی های اپتیکی لایه های نازک ۲۲
۲-۱-۲-۱ لایه همسانگرد بر روی زیر لایه ۲۲
۲-۱-۲-۲ لایه های نازک غیر جاذب ۲٤
۲-۱-۲-۳ لایه های نازک جاذب ۲٦
۲-۱-۲-۳-۱ محاسبه ضریب جذب لایه جاذب بر روی زیر لایه شفاف ۲۷
۲-۱-۳ ویژگی های اپتیکی مواد نیمرسانا ۲۹
۲-۱-۳-۱ وابستگی ضریب جذب و گاف نواری ۳۱
۲-۱-۳-۲ وابستگی ضریب شکست و گاف نواری ۳۹
۲-۱-۳-۳ وابستگی گاف نواری به اندازه دانه ۳۹
۲-۱-۳-٤ وابستگی خواص اپتیکی به مرزدانه ها ٤۱
۲-۲ روش های مختلف اندازه گیری ثوابت اپتیکی ٤۳
۲-۲-۱ رابطه کرامرز- کرونینگ ٤۳
۲-۲-۲ رابطه پراکندگی کوشی ٤٥
۲-۲-۳ رابطه پراکندگی سلمیر ٤٥
۲-۲-٤ روش فروهی بلومر ٤٦
۲-۲-٥ استفاده از بازتابش و ضریب خاموشی برای محاسبه ضریب شکست لایه جاذب ٤۷
۲-۲-٦ روش سان پول ٤۸
۲-۲-٦-۱ تخمین ضخامت به وسیله روش سان پول ٥۳

۳. معرفی خواص فیزیکی تلورید کادمیوم و کاربردهای آن

۳-۱ تلورید کادمیوم و خواص ساختاری آن ٥٤
۳-۲ خواص اپتیکی تلورید کادمیوم ٥۷
۳-۲-۱ ضریب جذب ٥۷

۳-۲-۲ گاف نواری ۵۷
۳-۲-۳ ضریب شکست، ضریب خاموشی و ثابت دی الکتریک..... ۵۸
۳-۲-٤ سایر خواص اپتیکی ٦۰
۳-۳ نوع نیمرسانایی تلورید کادمیوم ٦۰
۳-٤ کاربردهای تلورید کادمیوم ٦۰
۳-٤-۱ فناوری فروسرخ..... ٦۱
۳-٤-۲ سلول خورشیدی ٦۱
۳-٤-۲-۱ عملکرد سلول خورشیدی..... ٦۱
۳-٤-۲-۲ صنعت سلول خورشیدی..... ٦۲
۳-٤-۲-۳ سلول های خورشیدی لایه نازک تلورید کادمیوم ٦۵

٤. بررسی خواص اپتیکی لایه های نازک نانوبلور تلورید کادمیوم

٤-۱ معرفی شرایط رشد متفاوت و روش های اندازه گیری..... ٦۷
٤-۲ بررسی اثر ضخامت لایه بر خواص اپتیکی لایه نازک CdTe ٦۸
٤-۲-۱ تصاویر FESEM ٦۸
٤-۲-۱-۱ عکس از کنار..... ٦۸
٤-۲-۲ میزان عبور اپتیکی..... ۷۰
٤-۲-۳ میزان بازتابش..... ۷۱
٤-۲-٤ ضریب جذب، ضریب خاموشی و ضخامت بحرانی..... ۷۲
٤-۲-۵ ضریب شکست..... ۷۵
٤-۲-۵-۱ ضریب شکست در ناحیه جذب بالا..... ۷۵
٤-۲-٦ ثوابت دی الکتریک..... ۷٦
٤-۲-۷ گاف نواری..... ۷۷
٤-۲-۸ اندازه دانه..... ۷۸

٤-٢-٨-١ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش HBM ٧٨
٤-٢-٨-٢ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش EMA ٧٩
٤-٢-٩ جمع بندی..... ٧٩
٤-٣ بررسی اثر دمای زیرلایه بر خواص اپتیکی لایه نازک CdTe..... ٧٩
٤-٣-١ تصاویر FESEM ٨٠
٤-٣-١-١ عکس از بالا..... ٨٠
٤-٣-١-٢ عکس از کنار..... ٨٢
٤-٣-٢ میزان عبور..... ٨٥
٤-٣-٣ میزان بازتابش..... ٨٥
٤-٣-٤ ضریب جذب، ضریب خاموشی و ضخامت بحرانی ٨٦
٤-٣-٥ ضریب شکست..... ٨٩
٤-٣-٥-١ ضریب شکست در ناحیه جذب بالا..... ٨٩
٤-٣-٦ ثوابت دی الکتریک..... ٩٠
٤-٣-٧ گاف نواری..... ٩١
٤-٣-٨ اندازه دانه..... ٩٢
٤-٣-٨-١ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش HBM..... ٩٢
٤-٣-٨-٢ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش EMA..... ٩٣
٤-٣-٩ جمع بندی ٩٣
٤-٤ بررسی اثر استفاده از دستگاه کنترل شار بخار بر خواص اپتیکی لایه نازک CdTe..... ٩٤
٤-٤-١ مشخصات دستگاه کنترل شار بخار..... ٩٤
٤-٤-٢ تصاویر FESEM..... ٩٦
٤-٤-٢-١ عکس از بالا..... ٩٦
٤-٤-٢-٢ عکس از کنار..... ١٠٠
٤-٤-٢-٣ استوکیومتری..... ١٠٤

٤-٤-٣ میزان عبور اپتیکی..... ١٠٥
٤-٤-٤ میزان بازتابش..... ١٠٨
٤-٤-٥ ضریب جذب، ضریب خاموشی و ضخامت بحرانی..... ١١١
٤-٤-٦ ضریب شکست..... ١١٤
٤-٤-٦-١ ضریب شکست در ناحیه جذب بالا..... ١١٤
٤-٤-٦-٢ ضریب شکست در ناحیه عبور..... ١١٥
٤-٤-٧ ثوابت دی الکتریک..... ١١٦
٤-٤-٨ گاف نواری..... ١١٧
٤-٤-٩ اندازه دانه..... ١١٩
٤-٤-٩-١ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش HBM..... ١١٩
٤-٤-٩-٢ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش EMA..... ١٢٠
٤-٤-١٠ جمع بندی..... ١٢٠
٤-٥ بررسی اثر استفاده از دستگاه کنترل شار بخار در رشد خراشان بر مورفولوژی و خواص اپتیکی لایه نازک CdTe ١٢٢
٤-٥-١ تصاویر FESEM..... ١٢٣
٤-٥-١-١ عکس از بالا..... ١٢٣
٤-٥-١-٢ عکس از کنار..... ١٢٥
٤-٥-٢ میزان عبور اپتیکی..... ١٢٧
٤-٥-٣ میزان بازتابش..... ١٢٧
٤-٥-٤ ضریب جذب، ضریب خاموشی و ضخامت بحرانی..... ١٢٨
٤-٥-٥ گاف نواری..... ١٣٠
٤-٥-٦ اندازه دانه..... ١٣١
٤-٥-٦-١ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش HBM ١٣١
٤-٥-٦-٢ محاسبه اندازه دانه با استفاده از روش EMA ١٣٢
٤-٥-٧ جمع بندی..... ١٣٢

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۳

۵-۱ نتیجه گیری ۱۳۳
۵-۲ پیشنهادات ۱۳٤

پیوست الف..... ۱۳۵
پیوست ب ۱۳۸
مراجع..... ۱٤۵

فهرست اشکال

شکل های فصل ۱

شکل ۱-۱: طرحواره ای از رشد خراشان.....۷

شکل ۱-۲: اثر سایه اندازی و تشکیل ستون های زاویه دار بر اثر رونشانی خراشان.....۸

شکل ۱-۳: (a) ساز و کار ون در مرو (b) ساز و کار ولمر- وبر (c) ساز و کار استرانسکی – کاستانف.....۹

شکل۱-٤: فرایند تشکیل لایه Ag روی MoS_2.....۹

شکل۱-۵: به هم پیوستگی جزیره ها و بلوری شدن بعدی آنها.....۱۱

شکل۱-٦: ساز و کار به هم پیوستگی: (الف) عمل آوری اوزوالد، (ب) تحرک خوشه ها، (ج) به هم پیوستگی از طریق رشد.....۱۱

شکل۱-۷: ایندیوم لایه نشانی شده بر روی کربن آمورف. اتصال جزیره ها به یکدیگر. شکل سمت چپ ۰/۳ ثانیه بعد از شکل سمت راست است.....۱۱

شکل های فصل ۲

شکل ۲-۱: نمایش T، R و S.....۱۵

شکل ۲-۲: تصویر شماتیک یک اسپکتروفوتومتر دوپرتویی. LS) منبع نور، MC) مونوکروماتور، CH) پروانه چرخان، SC) محل قرار دادن نمونه، D) آشکارساز، A) آمپلی فایر.....۱۷

شکل ۲-۳: قطبش s در سمت راست و قطبش p در سمت چپ مشاهده می شود. محور x ها به سمت راست و محور z ها به سمت پایین افزایش می یابد. محور y ها با توجه به قانون دست راست به سمت بیرون صفحه افزایش می یابد.....۱۸

شکل ۲-٤: وابستگی بازتابش به زاویه نور فرودی در شرایطی که ضریب شکست حقیقی باشد.....۲۰

شکل ۲-۵: نمایش شماتیک عبور، شکست و بازتاب از یک لایه همگن بر روی زیرلایه همگن.....۲۲

شکل ۲-٦: بخش پایینی: بازتابش به عنوان تابعی از n_1d برای فیلم هایی با n_1 های متفاوت بر روی زیر لایه ای که برای آن $n_2=$ ۱/۵ است. بخش بالایی: بازتابش در یک لایه غیر جاذب همگن بین دو محیط با ضریب شکست یکسان.....۲٦

شکل ۲-۷: عبور و بازتابش متوالی نور عمودی با شدت I_0 در یک لایه. فلش های نقطه چین شده و خط چین شده به ترتیب نماینده نور بازتابی و نور عبوری می باشند.....۲۸

شکل ۲-۸ : بازه های انرژی امواج الکترومغناطیس و روش های اندازه گیری اپتیکی مربوطه شان.....۳۰

شکل ۲-۹: فرایند های اتمی، مولکولی و الکتریکی را در بازه های مختلف انرژی.....۳۱

شکل ۲-۱۰: ضریب جذب به عنوان تابعی از انرژی فوتون تابیده برای نیمرساناهای معمولی.....۳۲

شکل ۲-۱۱: نمای شماتیک از گذار مستقیم (چپ) و غیر مستقیم (راست) در نیمرسانا ها.....۳۳

شکل ۲-۱۲: چگونگی انتقال الکترون به نوار رسانش بر اثر جذب فوتون.....۳٤

شکل ۲-۱۳: نمودار $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ نزدیک به لبه جذب برای بلور GaAs.....۳۵

شکل ۲-۱٤: نمودار $(\alpha h\nu)^{1/2}$ برحسب $h\nu$ نزدیک به لبه جذب برای بلور Si ۳٦

شکل ۲-۱۵: جذب نوار به نوار برای Si در دمای ۳۰۰K. انرژی های E_1 و E_2 به نقاطی مربوطند که در آنها نمودار E بر حسب k نوار رسانش و ظرفیت با هم موازی اند.....۳۷

شکل ۲-۱٦: نمای کیفی تغییر شکل نوار رسانش و ظرفیت بر اثر استرس مکانیکی ناشی از مرزدانه ها. i: گذار غیر مستقیم، d: گذار مستقیم.....٤۲

شکل ۲-۱۷: خطوط پیوسته توسط روابط فروهی- بلومر رسم شده اند و نقاط مربوط به داده های تجربی برای SiO_2 هستند.....٤۷

شکل ۲- ۱۸: برخورد نور با لایه، عبور، شکست، بازتاب و تداخل ها.....٤۸

شکل ۲-۱۹: نمودار عبور از لایه نازک Se با ضخامت ۹٦۹ نانومتر بر روی زیر لایه شیشه.....٤۹

شکل ۲-۲۰: نمودار عبور شبیه سازی شده برای لایه ۱۰۰۰ نانومتری α -Si:H بر روی شیشه بی نهایت.....۵۰

شکل های فصل ۳

شکل ۳-۱: مقایسه ساختار زینک بلند در بالا و هگزاگونال دوگانه در پایین ۵۵

شکل۳-۲: صفحه های (۱۱۱): سمت چپ، و (۱۱۰): سمت راست در ساختار بلوری زینک بلند..... ٥٦

شکل ۳-۳: منطقه اول بریلوئن در ساختار زینک بلند ، که همان منطقه اول بریلوئن یک ساختار مرکز سطحی است. نقاط بحرانی و خطوط تقارن با علائم Γ و L و X و غیره مشخص می شوند. Γ : مرکز منطقه بریلوئن (۰و۰و۰)، L: مرکز یکی از سطوح با مختصات (۱/۲و۱/۲و۱/۲)، X : مرکز یکی از سطوح با مختصات (۰و۰و۱)، K : لبه منطقه با مختصات (۰و۳/٤و۳/٤) مشخص می شود.....٥٨

شکل ۳-٤: ساختار نواری محاسبه شده برای تلورید کادمیوم.....٥٨

شکل ۳-٥: ضریب شکست (n) و ضریب خاموشی (k) حالت حجیم تلورید کادمیوم، محاسبه شده با استفاده از داده های Sopra Material Database ٥٩

شکل۳-٦: مقادیر حقیقی (ε') و موهومی(ε'') ثابت دی الکتریک برای حالت حجیم تلورید کادمیوم، محاسبه شده با استفاده از داده های Sopra Material Database ٥٩

شکل۳-۷: بازده سلول خورشیدی مواد مختلف برای طیف AM0 ، AM1.5 و حد تابش جسم سیاه ٦٣

شکل ۳-۸: نمای شماتیک یک سلول خورشیدی بر پایه CdTe..... ٦٦

شکل های فصل ٤

شکل ٤-۱: عکس از کنار نمونه های A_1، A_2 و A_3 به ترتیب با ضخامت های ۳۰۰، ٦۰۰ و ۱۲۰۰ نانومتر ٦٩

شکل ٤-۲: مقایسه میزان عبور اپتیکی نمونه های A_1، A_2 و A_3.....۷۰

شکل ٤-٣: مقایسه میزان بازتابش نمونه های A_1، A_2 و A_3..... ٧١

شکل ٤-٤: مقایسه ضریب جذب نمونه های A_1، A_2 و A_3..... ٧٢

شکل ٤-٥: مقایسه ضریب خاموشی نمونه های A_1، A_2 و A_3..... ٧٣

شکل ٤-٦: مقایسه ضخامت بحرانی نمونه های A_1 ، A_2 و A_3..... ٧٤

شکل ٤-٧: مقایسه ضریب شکست لایه های نازک CdTe با ضخامت های متفاوت(نمونه های A_1، A_2 و A_3) با ضریب شکست ماده حجیم CdTe..... ٧٥

شکل ٤-٨: مقایسه بخش حقیقی ثابت دی الکتریک لایه های نازک CdTe با ضخامت های متفاوت (نمونه های A_1، A_2 و A_3) با بخش حقیقی ثابت دی الکتریک حجیم CdTe..... ٧٦

شکل ٤-٩: مقایسه بخش موهومی ثابت دی الکتریک لایه های نازک CdTe با ضخامت های متفاوت (نمونه های A_1، A_2 و A_3) با بخش موهومی ثابت دی الکتریک حجیم CdTe..... ٧٦

شکل ٤-١٠: نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ برای نمونه های A_1، A_2 و A_3 ..... ٧٨

شکل ٤-١١: تصویر FESEM از بالا نمونه B_1..... ٨٠

شکل ٤-١٢: تصویر FESEM از بالا نمونه B_2..... ٨١

شکل ٤-١٣: تصویر FESEM از بالا نمونه B_3..... ٨١

شکل ٤-١٤: تصویر FESEM از بالا نمونه B_4 ..... ٨٢

شکل ٤-١٥: تصویر نمونه B_1 از کنار..... ٨٣

شکل ٤-١٦: تصویر نمونه B_2 از کنار..... ٨٣

شکل ٤-١٧: تصویر نمونه B_3 از کنار..... ٨٤

شکل ٤-١٨: تصویر نمونه B_4 از کنار..... ٨٤

شکل ٤-١٩: مقایسه میزان عبور نمونه های B_1، B_2، B_3 و B_4 ..... ٨٥

شکل ٤-٢٠: مقایسه میزان بازتابش نمونه های B_1، B_2، B_3 و B_4 ..... ٨٦

شکل ٤-٢١: مقایسه ضریب جذب نمونه های B_1، B_2، B_3 و B_4 ..... ٨٧

شکل ٤-٢٢: مقایسه ضریب خاموشی نمونه های B_1، B_2، B_3 و B_4 ..... ٨٨

شکل ٤-٢٣: مقایسه ضخامت بحرانی نمونه های B_1، B_2، B_3 و B_4 ..... ٨٨

شکل ٤-٢٤: مقایسه ضریب شکست لایه های نازک CdTe با دمای زیرلایه متفاوت (B_1، B_2، B_3 و B_4) با ضریب شکست ماده حجیم CdTe ٨٩

شکل ٤-٢٥: مقایسه بخش حقیقی ثابت دی الکتریک لایه های نازک CdTe با دمای زیر لایه متفاوت (B_1، B_2، B_3 و B_4) با بخش حقیقی ثابت دی الکتریک حجیم CdTe ٩٠

شکل ٤-٢٦: مقایسه بخش موهومی ثابت دی الکتریک لایه های نازک CdTe با دمای زیر لایه متفاوت (B_1، B_2، B_3 و B_4) با بخش موهومی ثابت دی الکتریک حجیم CdTe ٩١

شکل ٤-٧ : نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ برای نمونه های B_1 ، B_2، B_3 و B_4 ..... ٩٢

شکل ٤-٢٨: نمایش سیستم کنترل بخار. A: موتور DC گیربکس دار، :B شاتر ثابت که در فرایند لایه نشانی حاضر از آن استفاده نشده است، C: شاتر چرخان، D: زیرلایه، E: میلگرد نگهدارنده سیستم موتور و شاتر چرخان و ثابت، F: بوته، :G الکترودها..... ٩٤

شکل ٤-٢٩: سیستم کنترل شار بخار همراه با فضای استوانه ای بسته نصب شده به شاتر چرخان..... ٩٥