بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

بررسی خواص اپتیکی و الکتریکی لایه جاذب نوری CZTS در حضور پیش‌ماده‌های روی و روی‌سولفید

سجاد قربانی[۱]، مهرداد مرادی[۱] و زهرا رجبی[۲]

[۱]پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
[۲]مرکز نانوتکنولوژی و مهندسی بافت، پژوهشکده علوم تولید مثل یزد، دانشکده علوم پزشکی شهید صدوقی یزد
ghorbani744@gmail.com, m.moradi@kashanu.ac.ir, zxrajabi@gmail.com

چکیده – خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه جاذب نوری CZTS لایه‌نشانی شده به‌روش تبخیر حرارتی با استفاده از دو پیش‌ماده متفاوت روی‌سولفید (ZnS) و روی (Zn) بررسی شد. در نمونه اول، لایه جاذب نوری CZTS به‌صورت چند لایه‌ای ZnS/Cu/Sn/S لایه‌نشانی شد. لایه‌نشانی نمونه دوم همانند نمونه اول انجام شد با این تفاوت که به‌جای پیش‌ماده روی‌سولفید از پیش‌ماده فلزی روی استفاده شد. بررسی خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه جاذب نوری CZTS به‌ترتیب توسط آنالیزهای SEM، XRD، طیف‌سنجی نوری-بازتابی و دستگاه شبیه‌ساز طیف خورشید انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از پیش‌ماده فلزی روی به‌جای روی‌سولفید باعث بهبود یکنواختی سطح و بلورینگی لایه جاذب نوری CZTS، کاهش تشکیل لایه میانی MoS_2، برقرار شدن اتصال دیودی (شاتکی) بین لایه جاذب نوری و آلومینیوم لایه‌نشانی شده بر روی آن و کاهش گاف نواری لایه جاذب نوری می‌شود.

کلید واژه- لایه جاذب نوری، CZTS، پیش‌ماده، روی، روی‌سولفید، MoS_2.

Investigation of optical and electrical properties of CZTS optical absorber layer in the presence of zinc and zinc sulfide precursors

Sajad Ghorbani[1], Mehrdad Moradi[1], Zahra Rajabi[2]

[1]Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran
[2]Medical nanotechnology and tissue engineering research center, yazd reproductive sciences institute, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Abstract- The structural, optical and electrical properties of the CZTS optical absorber layer deposited by vacuum thermal evaporation method using two different precursors of zinc sulfide (ZnS) and zinc (Zn) were investigated. In the first sample, the CZTS optical absorber layer was deposited as ZnS/Cu/Sn/S multilayer. The second sample was deposited similar to the first sample, but zinc metal precursor was used instead of zinc sulfide precursor. The structural, optical, electrical properties of CZTS optical absorber layer were investigated by SEM and XRD analysis, optical-reflectance spectroscopy and solar spectrum simulator, respectively. The results showed that the use of zinc metal precursor instead of zinc sulfide improves the Surface uniformity and crystallinity of the CZTS optical absorber layer, reducing the formation of MoS_2 intermediate layer, creating a diode (Schottky) contact between the optical absorber layer and the aluminum deposited on it and reducing the optical band gap of the optical absorber layer.

Keywords: Optical absorber layer, CZTS, MoS_2, Precursor, Zinc, Zinc sulphide.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

مقدمه

امروزه لایه‌های جاذب نوری مانند CIGS و CdTe اغلب در سلول‌های خورشیدی لایه‌نازک مورد استفاده قرار می‌گیرند. محدودیت‌های تجاری‌سازی برای دستگاه‌های سلول خورشیدی مبتنی برلایه‌های‌نازک CIGS و CdTe وجود دارد و این خود عاملی است که محققان را برای پیدا کردن لایه‌های جاذب نوری جایگزین، ترغیب می‌کند. لایه‌نازک CZTS با نیم‌رسانایی نوع p توانایی حل این مشکلات را با توجه به ویژگی‌های کم‌نظیر خود دارد. از ویژگی‌های لایه‌نازک CZTS می‌توان به عناصر تشکیل دهنده ارزان‌قیمت و فراوان، گاف نواری مستقیم ۱/۵ -۱/۴ الکترون‌ولت و ضریب جذب بالا اشاره نمود. استفاده از سلول خورشیدی مبتنی بر لایه‌نازک CZTSSe در مقیاس بزرگ، به‌دلیل وجود عنصر سلنیوم یک مشکل بزرگ خواهد بود. زیرا سلنیوم عنصری است که فراوانی کمتری را نسبت به گوگرد داشته و مهم‌تر از آن سلنیوم عنصری سمّی می‌باشد. بنابراین استفاده از لایه‌نازک CZTS با آنیون خالص گوگرد عاقلانه‌تر به‌نظر می‌رسد [۱]. لایه‌نازک CZTS توسط روش‌های گوناگونی ساخته می‌شود که از جمله این روش‌ها می‌توان به کندوپاش، تبخیر حرارتی، تبخیر با تفنگ الکترونی، سل-ژل، لایه‌نشانی شیمیایی بخار و لیزر پالسی اشاره نمود [۲]. روش لایه‌نشانی لایه جاذب نوری نقش مهمی را در بهبود کیفیت و خواص دستگاه فوتوولتائیک ساخته شده بازی می‌کند. بنابراین پرداختن به جزئیات بیشتری برای ساخت و بهینه‌سازی لایه جاذب نوری CZTS نیاز است [۳]. مشکلاتی که در ناحیه فصل مشترک p-CZTS/Mo ایجاد می‌شود، بازدهی سلول خورشیدی مبتنی بر لایه‌نازک CZTS را محدود می‌کند. لایه میانی MoS_2 که بین اتصال پشتی Mo و لایه جاذب نوری CZTS تشکیل می‌شود یکی از مشکلاتی است که بازدهی دستگاه فوتوولتائیک را محدود می‌کند. دلیل تشکیل این لایه: الف- گوگرددار کردن اتصال پشتی مولیبدن و یا ب- واکنش بین مولیبدن و لایه جاذب نوری CZTS در حین گوگرددار کردن تحت دمای بالای لایه جاذب نوری CZTS می‌باشد [۴و۵]. بنابراین بررسی اثر تشکیل لایه میانی MoS_2 بر خواص دستگاه فوتوولتائیک، امری ضروری به‌شمار می‌رود.

در این مقاله اثر تعویض پیش‌ماده Zn به‌جای ZnS بر خواصی اپتیکی و الکتریکی لایه جاذب نوری CZTS بررسی شده است. نتایج نشان داد که استفاده از پیش ماده Zn به جای ZnS به‌دلیل کاهش ضخامت لایه میانی n-MoS_2 و کاهش انباشت ZnS در ناحیه بین اتصال پشتی و لایه جاذب نوری باعث بهبود برقراری اتصال شاتکی فلز- نیم‌رسانا بین لایه جاذب نوری p- CZTS و آلومینیوم لایه‌نشانی شده بر روی آن و همچنین تغییر در گاف نواری لایه جاذب نوری می‌شود.

بخش تجربی

لایه‌نشانی مولیبدن به عنوان اتصال پشتی بر روی لام‌های شیشه‌ای با استفاده از دستگاه کندوپاش در دو فشار کاری متفاوت ۶×۱۰^{-۳} و ۳×۱۰^{-۳} میلی‌بار و توان کندوپاش ۳۰۰w با ضخامت تقریبی ۹۰۰ nm انجام شد. به‌منظور کاهش تشکیل لایه MoS_2 و افزایش کیفیت لایه جاذب نوری CZTS، بازپخت در شرایط خلاء لایه مولیبدن در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. جهت لایه‌نشانی پیش‌ماده‌های ZnS، Zn، Cu و Sn، مولیبدن‌های لایه‌نشانی شده بر روی بستر شیشه‌ای در دستگاه تبخیر حرارتی در فشار کاری ۷×۱۰^{-۵} میلی‌بار قرار داده شدند و پس از آماده‌سازی دستگاه، جهت رشد بهتر و یکنواختی لایه‌ها دمای بستر به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد. همچنین افزایش دمای بستر باعث چسبندگی بهتر پیش‌ماده‌های فلزی به سطح بستر می‌شود. فاصله بوته‌ها تا سطح بستر حدود ۱۵ سانتی‌متر قرار داده شد. در لایه‌نشانی نمونه اول، به‌ترتیب لایه‌نشانی ZnS، Cu و Sn در دستگاه تبخیر حرارتی انجام شد و پس از آن نمونه‌ها در کوره افقی تیوبی جهت تکمیل فرآیند ساخت لایه جاذب نوری CZTS گوگرددار شدند. مقدار گوگرد استفاده شده ۰/۵گرم و شار گاز آرگون استفاده شده در طی فرآیند گوگرددار کردن برابر با SCCM ۱۵ بود. فرآیند گوگرددار کردن و تکمیل لایه جاذب نوری CZTS در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۳۰ دقیقه با آهنگ دمایی ۲۲°C/min انجام شد. در لایه‌نشانی نمونه دوم، لایه‌نشانی پیش‌ماده‌های فلزی و شرایط دمایی فرآیند گوگرددار کردن همانند لایه‌نشانی

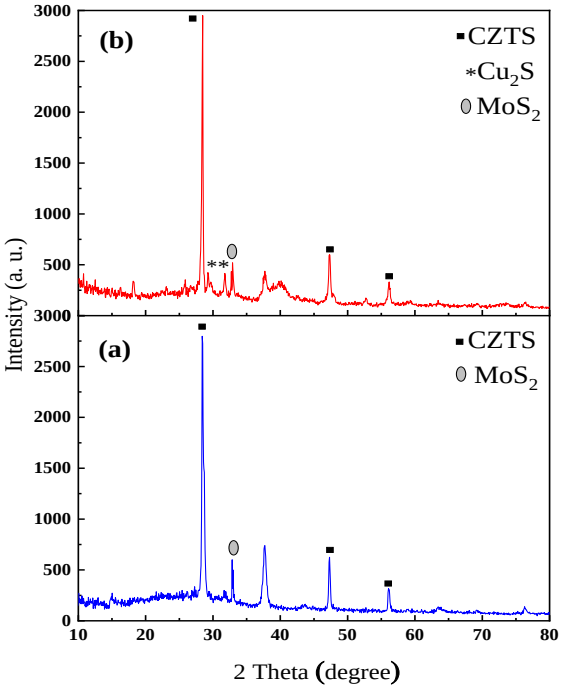
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

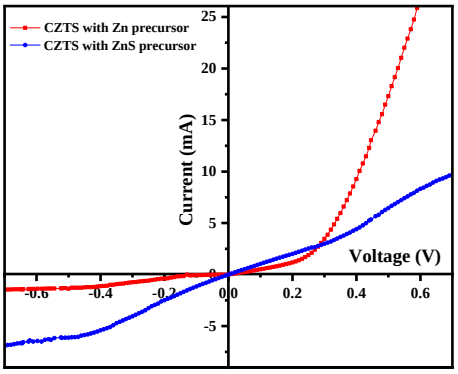
نمونه اول انجام شد با این تفاوت که به‌جای پیش‌ماده ZnS از پیش‌ماده فلزی Zn استفاده شد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی خواص بلوری ساختار CZTS از نمونه‌ها آنالیز پراش پرتو ایکس گرفته شد. نتایج حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود، نمودار آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه اول دارای سه قله اصلی مربوط به فاز خالص CZTS با صفحات (۱۱۲)، (۲۲۰) و (۳۱۲) به‌ترتیب در زوایای (2θ) برابر با ۲۸/۵۳°، ۴۷/۳۳° و ۵۶/۱۷° می‌باشد. با مقایسه شدت قله‌ها در الگوی پراش پرتو ایکس دیده می‌شود که بیشترین شدت مربوط به قله (۱۱۲) می‌باشد و پس از آن بقیه قله‌های ذکر شده در بالا، دارای بیشترین شدت مربوط به تشکیل فاز CZTS هستند. همچنین فاز اضافی MoS_2 نیز در زاویه برابر با ۳۲/۹۵° در صفحه (۱۰۱) نیز ظاهر شده است که نشان از نفوذ گوگرد استفاده شده در فرآیند گوگرددار کردن و همچنین گوگرد موجود در پیش ماده ZnS به قسمت اتصال پشتی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱-ب مشخص است، نمودار آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه دوم دارای سه قله اصلی (۱۱۲)، (۲۲۰) و (۳۱۲) به‌ترتیب در زوایای (2θ) برابر با ۲۸/۵۳°، ۴۷/۳۳° و ۵۶/۱۷° می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس نشان داد که فاز اضافی MoS_2 نیز در این نمونه تشکیل شده است اما بر خلاف نمونه اول، این فاز اضافی از تعداد و شدت کمتری نسبت به نمونه اول برخوردار است. به‌منظور اطمینان از این‌که لایه جاذب نوری CZTS ساخته شده نیم‌رسانای نوع p است، رفتار دیودی (شاتکی) آن در اتصال با آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور رفتار الکتریکی لایه جاذب نوری با استفاده از دستگاه شبیه ساز طیف خورشید انجام شد. نمودار جریان- ولتاژ هر دو نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱: الگوی پراش پرتو ایکس الف) نمونه اول و ب) دوم.



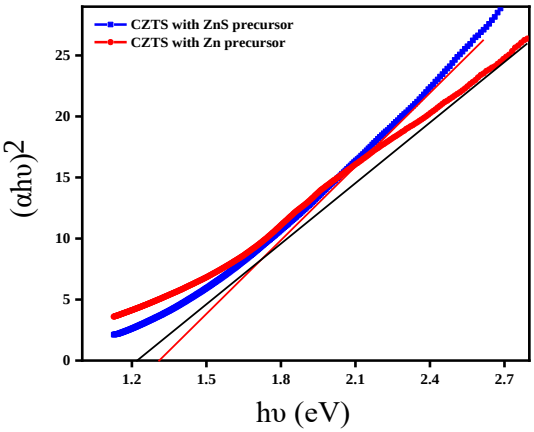
شکل ۲: نمودار جریان-ولتاژ نمونه‌های اول و دوم.

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که رفتار الکتریکی نمونه‌ها در اتصال با آلومینیوم لایه‌نشانی شده بر روی آن، برای نمونه اول یک رفتار اهمی است درحالی که این رفتار برای نمونه دوم نشان‌دهنده یک رفتار دیودی (شاتکی) می‌باشد. برقرارشدن اتصال دیودی بین لایه جاذب نوری و آلومینیوم می‌تواند به عامل مهمی بستگی داشته باشد. از آنجایی که در نمونه دوم از پیش‌ماده فلزی Zn استفاده شد، احتمالاً استفاده از Zn منجر به تغییر درصد عناصر موجود در ترکیب Cu_2ZnSnS_4 و کاهش تشکیل لایه میانی n-MoS_2 شده و در نتیجه برخلاف نمونه اول از ورود حفره‌ها به اتصال پشتی مولیبدن جلوگیری نکرده است [۶]. دلیل

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

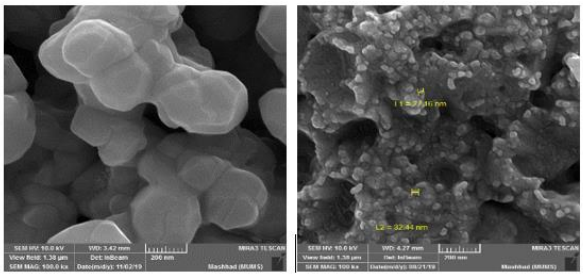
دیگر برقرار نشـدن اتصـال دیودی بین لایه جاذب نوری و آلومینیوم در نمو نه اول، می‌توا ند ا ندازه دا نه کو چک و انباشـت ZnS در ناحیه بین اتصـال پشـتی و لایه جاذب نوری با توجه به اسـتفاده از پیش ماده ZnS باشـد [۷].



شکل ۳: نمایش $(\alpha h\upsilon)^2$ بر حسب $h\upsilon$ و محاسبه گاف نواری نمونه‌های اول و دوم.

به‌منظور تعیین گاف نواری لا یه جاذب نوری CZTS از آنالیز طیف سنجی نوری-بازتابی ا ستفاده شد. گاف نواری لایه جاذب نوری CZTS از رسـم نمودار $(\alpha h\upsilon)^2$ بر حسـب $h\upsilon$ و محاسـبه شـیب خط مماس بر قسـمت خطی نمودار تعیین شـد. α میزان جذب در طیف جذبی و $h\upsilon$ انرژی بر حسـب الکترون‌ولت می‌باشـد. با اسـتفاده از این آنالیز و همان‌طور که در شـکل ۳ مشـاهده می‌شـود، گاف نواری نمونـه اول و دوم بـه‌ترتیـب ۱/۳۱ و ۱/۲۲ الکترون‌ولـت محاسـبه شـد. دلیل کاهش مقدار عددی گاف نواری نمونه دوم حـضور فازهای ا ضافی، به‌ویژه فاز ا ضافی Cu_2S که در شکل ۱-ب نیز م شاهده می شود، در ساختار لایه جاذب نوری CZTS می‌باشـد. در واقع وجود فاز Cu_2S که خود دارای گاف نواری ۱/۲۱ الکترون‌ولت می‌باشـد، منجر به افزایش بازتاب از سطح و کم شدن عبور نور در لایه نازک CZTS و در نتیجه باعث کاهش بازدهی سلول خور شیدی با توجه به کاهش ولتاژ مدار باز می‌شود [۷].

به‌منظور بررسی سطح لایه جاذب نوری لایه نشانی شده، ازآنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، نمونه دوم نسبت به نمونه اول درای ساختار یکنواخت‌تر با اندازه دانه بزرگتر می‌باشد که این اندازه دانه بزرگتر در نمونه دوم باعث کاهش فرآیند بازترکیب در نقاط مرزدانه می‌شود.



شکل ۴ :تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی؛ سمت راست: نمونه اول و سمت چپ: نمونه دوم.

نتیجه‌گیری

جایگزینی پیش‌ماده فلزی روی به‌جای روی‌سولفید باعث بهبود خواص بلوری لایه جاذب نوری CZTS، کاهش تشکیل لایه میانی MoS_2 وکاهش انباشت ZnS بین لایه جاذب نوری و اتصال پشتی مولیبدن، و در نتیجه برقرار شدن اتصال دیودی (شاتکی) بین لایه جاذب نوری و آلومینیوم لایه‌نشانی شده بر روی آن،کاهش گاف نواری لایه جاذب نوری به دلیل افزایش فاز اضافی Cu_2S و همچنین بهبود یکنواختی سطح لایه جاذب نوری شد.

مرجع‌ها

[1] Miao, Dagang, Jiangtao Xu, Shouxiang Jiang, Xin Ning, Jie Liu, and Songmin Shang. "Crystallization temperature investigation of Cu_2ZnSnS_4 by using Differential scanning calorimetry (DSC)." Ceramics International Vol. 44, pp. 4256-4261, 2018.

[2] Aydin, Remzi, and Idris Akyuz. "Two-stage production and characterization of Cu-poor kesterite CZTS absorber layers." Optik Vol. 200, pp. 163407, 2020.

[3] S. Chaudhari, K. P. Kannan, S. R. Dey, "Investigation of optimum annealing parameters for formation of dip coated Cu_2ZnSnS_4 thin film", Thin Solid Films Vol. 612, pp. 456–462, 2016.

[4] Lin, Junhui, Jiaxiong Xu, and Yuanzheng Yang. "Numerical analysis of the effect of MoS_2 interface layers on copper-zinc-tin-sulfur thin film solar cells", Optik Vol. 201, pp. 163496, 2020.

[5] Yang, Kee-Jeong, Jun-Hyoung Sim, Boram Jeon, Dae-Ho Son, Dae-Hwan Kim, Shi-Joon Sung, Dae-Kue Hwang et al. "Effects of Na and MoS_2 on Cu_2ZnSnS_4 thin-film solar cell", Progress in Photovoltaics: Research and Applications Vol. 23, pp. 862-873, 2015.

[6] Seo, Dongwan, Jihoon Na, Changheon Kim, Chaehwan Jeong, and Sangwoo Lim. "Improvement of Cu_2ZnSnS_4 thin film properties by a modified sulfurization process." Thin Solid Films Vol. 591, pp. 289-294, 2015.

[7] Mkawi, E. M., K. Ibrahim, M. K. M. Ali, M. A. Farrukh, and Nageh K. Allam. "Influence of precursor thin films stacking order on the properties of Cu_2ZnSnS_4 thin films fabricated by electrochemical deposition method." Superlattices and Microstructures Vol. 76, pp. 339-348, 2014.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]