بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
12-14 بهمن 1400

ساخت آشکار ساز نوری مقاومتی برپایه الکترودهای شانه‌ای مبتنی بر ماده کادیوم سولفید

مریم حسنی و سمانه حامدی*

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

hamedi@sutech.ac.ir

چکیده – در این مقاله آشکار ساز نوری برپایه تغییر مقاومت برای استفاده در طول موج‌های مرئی ساخته شده است. در آشکار ساز ساخته شده از الکترودهای شانه‌ای‌مسی بر روی زیرلایه از جنس برد مدار چاپی (pcb) استفاده شده‌است. ماده‌حساس به نور از جنس کادیوم سولفید (CdS) روی سطح آن قرار گرفته‌است. افت مقاومت آشکار سازنسبت به تابش نور سبز (532nm)، قرمز(650nm) و سفید در دمای اتاق بیانگر آن‌است که هنگام بر خورد نور به‌آشکار ساز تغییرات مقاومت اتفاق افتاده‌است. بالاترین مقدار پاسخدهی آشکارساز نوری مربوط به نور سبز(532nm)، و حدود 96/9٪ است. همچنین زمان بازیابی نور سبز به دلیل جذب بیشتری که در آن اتفاق افتاده است در مقایسه با طول‌موج‌های نوری دیگر بیشتر است.

کلید واژه- آشکارساز نوری، الکترود شانه‌ای، طول موج نور مرئی، کادیوم سولفید

Fabrication of a Resistive photodetector based on Interdigitated Electrodes with CdS

Maraym Hassani and Samaneh Hamedi*

Department of Electrical and Electronics Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
hamedi@sutech.ac.ir

Abstract- In this paper, a photo detector based on the resistance change for visible wavelengths is fabricated. In the fabricated detector, interdigitated electrodes (IDE) made of copper (Cu) on a PCB board is used. CdS as the photosensitive layer is deposited on IDE electrodes. The resistance of the detector decreases in response of the optical wavelengths of green (530nm), red (650nm) and white at room temperature. This indicates that the mentioned detector works based on the resistance change. The maximum responsivity is about 96.9% related to the wavelength of 530nm. Also, the recovery time of the green wavelength is longer compared to other optical wavelengths due to the higher absorption.

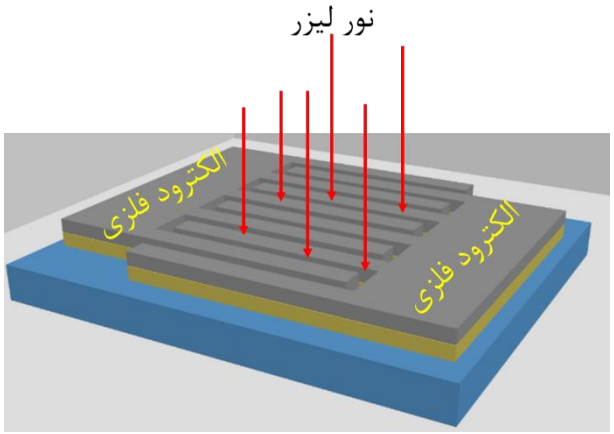
Keywords: Optical detector, interdigitated electrode, visible wavelength, CdS

مقدمه

آشکارسازهای نوری یکی از اجزای ضروری شبکه‌های نوری برای کاربرد در مخابرات نوری هستند. در یک خط انتقال نوری وظیفه آشکارساز نوری که اولین بلوک گیرنده است تبدیل سیگنال نوری حاوی اطلاعات به سیگنال الکتریکی است. انواع مختلف آشکارسازهای نوری نیمه هادی شامل PN[1]، PIN [2]، آشکارساز فلز-نیمه هادی-فلز (MSM) [3] و فوتوترانزیستور[4] هستند. در یک آشکارساز نوری به طور ساده از پیوند دو نیمه هادی با آرایش نوع (n) و نوع (p) تشکیل شده است،که به طور معکوس بایاس شده است. در این صورت در محل پیوند دو نیمه هادی یک سد پتانسیل ایجاد شده که اگر نور به محل پیوند P-N برخورد کند تولید زوج الکترون حفره می کند. آشکارساز نوری الکترود شانه‌ای نوعی آشکارساز MSM است که باعث افزایش پهنای باند شده و می‌توان با کوچک‌ترکردن فاصله بین الکترودهای شانه‌ای بر محدودیت زمان پاسخ غلبه کرد [5و6]. از الکترود شانه‌ای برای طراحی آشکارساز نوری در محدوده طول موج‌های مادون قرمز با استفاده از ماده Ag_2S که یک نیمه هادی با گاف مستقیم است، و همچنین در محدوده طول موج‌های فرابنفش از ZnO استفاده شده است [6و7]. ماده کادیوم سولفید (CdS) با شکاف باند 4/24 (ev) و خواص نوری، برای دستگاه‌های الکترونیکی و نوری مانند سلول‌های خورشیدی، دیودهای نوری و مقاومت نوری مناسب است. ساختارهای CdS با چندین مزیت منحصر به فرد از جمله نسبت سطح به حجم بالا، اثرات محصور شدن کوانتومی و همچنین بازترکیب حفره الکترونی به عنوان یک ماده امیدوار کننده در نظر گرفته شده است [9و 10]. در این مقاله آشکارساز نوری به صورت الکترود شانه‌ای بر روی برد Pcb طراحی شده است. سپس روی سطح آن لایه‌ای از CdS قرار گرفته است. پاسخ دهی آشکارساز نوری مبتنی بر CdS در مقابل منبع نور در محدوده نور مرئی مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش انجام آزمایش

در این آزمایش از الکترودهای شانه‌ای از جنس مس به قطر 200 نانومتر و به فاصله 200 نانومتر استفاده شده است. سطح مقطع فعال آشکارساز 1×1 سانتی مترمربع بر روی زیرلایه برد مدارچاپی Pcb است. ماده کادیوم سولفید (CdS) به ضخامت 150 نانومتر با روش کندوپاش RF بر روی سطح الکترود شانه‌ای لایه نشانی شده است. شماتیک آشکارساز ساخته شده در شکل (1) نشان داده شده است. همانطور که در تصویر دیده می‌شود، نور به سطح مقطع الکترود تابیده شده و مقدار تغییر مقاومت آن اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری مقاومت از مولتی‌متر دیجیتال با قابلیت اتصال به رایانه که داده‌ها را ذخیره می‌کند استفاده شده است. برای اندازه‌گیری تغییر مقاومت خروجی آشکارساز از سه منبع نوری به طول موج‌های مختلف مانند سبز(532nm)، قرمز(650nm) و سفید استفاده شده است. منبع نور لیزر در پایه نگهدارنده و در فاصله‌ی 10 سانتی متری از آشکارساز نوری قرار گرفته است.



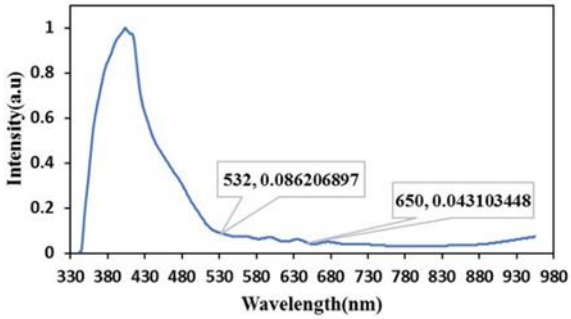
شکل 1. شماتیک آشکارساز نوری ساخته شده

برای بررسی و مقایسه تغییر مقاومت خروجی آشکارساز، منابع نوری با توان خروجی برابر به مدت حدود 4 دقیقه به

نمونه تابانده شده است. این فرایند برای هر سه منبع نوری انجام شده است.

نتایج تجربی

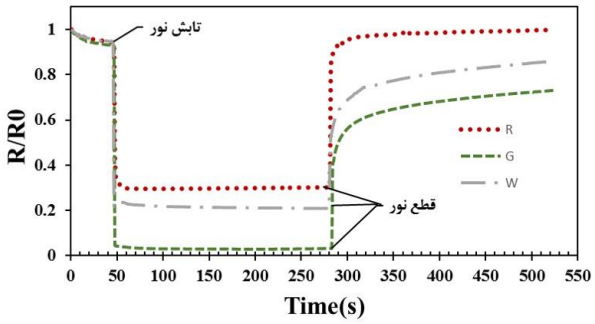
طیف جذب CdS به عنوان ماده حساس به نور در شکل (2) نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری مقادیر ضریب جذب



شکل 2 . طیف جذب ماده حساس به نور کادیوم سولفید (CdS)

از دستگاه طیف‌سنج نوری(ساخت شرکت فیزتک) در محدوده طول موج‌های 340 تا 950 نانومتر استفاده شده است. با توجه به نمودار رسم شده بیشینه جذب CdS، در طول موج 405 نانومتر است. در شکل (3) مقدار پاسخ آشکارساز نسبت به تابش نور لیزر با طول موج‌های قرمز (650 نانومتر)، سبز (532 نانومتر) و سفید را نشان می‌دهد. در این آزمایش ابتدا مقاومت آشکارساز در حالت تاریک یا به عبارتی بدون تابش نور اندازه‌گیری و ذخیره شده است. سپس تغییر مقاومت به ازای تابش نور اندازه‌گیری می‌شود. در مدت 4 دقیقه نور به سطح آشکارساز تابیده شده و سپس قطع می‌شود. با توجه به نمودار رسم شده، با تابش نور مقاومت آشکارساز کاهش یافته و پس از قطع نور به به مقدار اولیه افزایش می‌یابد. علت فیزیکی این پدیده در این است که وقتی نور به آشکارساز نوری برخورد می کند، الکترون‌های لایه ظرفیت، انرژی نور را دریافت می‌کنند، از اتم جدا شده و به الکترون آزاد تبدیل می‌شوند. الکترون

های آزاد، آزادانه در قطعه حرکت می‌کنند و باعث ایجاد جریان الکتریکی و بالتبع افزایش رسانایی می‌شوند. درنتیجه این امر منجر به کاهش مقاومت الکتریکی خواهد شد.

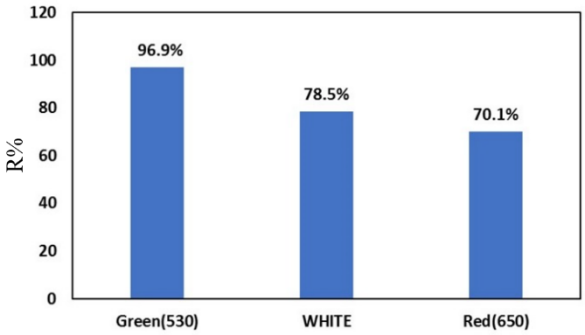


شکل 3. نمودار پاسخ آشکارساز نسبت به نورهای قرمز، سبز و سفید
زمان پاسخ و بازیابی

با توجه به نمودار رسم شده مقادیر مقاومت آشکارساز قبل از برخورد نور (مقاومت تاریکی) برای هر سه طول موج نور تقریبا نزدیک به هم است اما در زمان برخورد نور، با توجه به طول موج منبع نور تغییرات مقاومت متفاوت شده است. برای بررسی میزان پاسخ آشکارساز ساخته شده از رابطه (1) استفاده شده است.

$$R\% = |\frac{R - R_0}{R_0}| \times 100 \qquad (1)$$

که در این رابطه R_0 مقاومت قبل از تابش نور به آشکارساز و R مقاومت بعد از برخورد نور است. مقدار پاسخدهی نور سبز، قرمز و سفید به ترتیب 96/9٪، 70/1٪، 78/5٪ به‌دست آمده است. نمودار میله‌ای میزان پاسخدهی آشکارساز نوری نسبت به طول‌موج‌های نور تابشی در شکل (4) نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای رسم شده میزان پاسخدهی نور سبز با طول موج 532 نانومتر در مقایسه با دو طول موج نوری دیگر بیشتر است. زیرا با توجه به طیف جذب رسم شده (شکل 2)، ماده CdS در نور با طول موج 532 نانومتر دارای جذب بیشتری است.



شکل 4 . مقادیر پاسخدهی آشکارساز نوری نسبت به طول موج های نور تابشی

بنابراین اگر نور تابشی در محدوده طیف جذب ماده فعال آشکارساز قرار داشته باشد آنگاه میزان جذب نور توسط الکترود بیشتر صورت گرفته است که این خود باعث تغییرات مقاومت بیشتر شده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش یک آشکارساز نوری مبتنی بر الکترود شانه‌ای با لایه حساس به نور از جنس کادیوم سولفید (CdS) ساخته شد. آشکارساز ساخته شده بر مبنای تغییر مقاومت الکتریکی نسبت به تابش نور عمل می‌کند. نتیجه نشان داد که آشکارساز ساخته شده حساسیت مناسبی نسبت به نور با طول موج نور مرئی در دمای اتاق را نشان می‌داد. پاسخ آشکارساز نوری به نور سبز(532 نانومتر) نسبت به طول موج‌های نوری دیگر بیشینه بود به طوری که مقدار پاسخدهی آشکارساز نوری به هنگام برخورد نور سبز حدود 96/9 ٪ به دست آمد. از مزایای آشکارساز ارائه شده میزان پاسخ سریع، ساخت آسان و تجهیزات اندازه‌گیری ساده تر است.

مرجع‌ها

[1] H. Ohta, M. Kamiya, T. Kamiya, M. Hirano, H. Hosono. "UV-detector based on pn-heterojunction diode composed of transparent oxide semiconductors, p-NiO/n-ZnO", Thin Solid Films., Vol. 445, No. 2. pp. 317-321, 2003.

[2] H. Kaur, HJ. Kaur, MK. Hooda, L Gupta, “Electrical characteristics analysis of PIN detector with different doping concentration levels of N and P-type materials”, Matt Today: Proceedings., Vol. 28, pp. 1879-1886, 2020.

[3] R. Singh, A. Srivastava, S. Jit, S. Tripathi, “High responsivity visible blind Pd/Al 2 O 3/MoS 2/ITO MISM UV photodetector”, IEEE Photonics Tech Lett., Vol. 32, No. 12, pp. 733-736, 2020.

[4] G. H. Shin, C. Park, K. J. Lee, H. J. Jin, S. Y. Choi, “Ultrasensitive phototransistor based on WSe2–MoS2 van der Waals heterojunction”, Nano Lett., Vol. 20, No. 8, pp. 5741-5748, 2020.

[5] F. Ravanan, H. Roshan, M. H. Sheikhi, “A Novel Low Voltage Near-Infrared Photodetector Based on Ag2S Nanocrystals”, 28th Iran Conf on Electricl Engineering (ICEE)., 2020.

[6] FH. Alsultany, Z. Hassan, NM. Ahmed, “A high-sensitivity, fast-response, rapid-recovery UV photodetector fabricated based on catalyst-free growth of ZnO nanowire networks on glass substrate”, Opt Mat., Vol. 60, pp. 30-37, 2016.

[7] AI. Nusir, AM. Hill, MO. Manasreh, J. B. Herzog, "Near-infrared metal-semiconductor-metal photodetector based on semi-insulating GaAs and interdigital electrodes", Photonic Research., Vol. 3, No. 1, pp. 1-4, 2015.

[8] J. Liu, X. Liang, Y. Xu, M. Yan, B. Wang, T. ZhangYan, Yi. Futing, "Fabrication of tree-like CdS nanorods-Si pillars structure for photosensitive application", J. Mat Scie: Materials in Electronics., Vol. 31, No. 14, pp. 11862-11869, 2020.

[9] EO. Echeweozo, NO. Okoro, P. Ngele, "Design, construction and calibration of automatic street light controller using Light Dependent Resistor (LDR)", J. Appl Sci and Env and Manage., Vol. 23, No. 3, pp. 457-459, 2019.

[10] F. Marinho, C.M. Carvalho, F.R. Apolinario, L. Paulucci, “Measuring light with light dependent resistors: an easy approach for optics experiments”, Euro J. Phy., Vol. 40, No. 3, pp. 035801, 2019.

[11] W. Setya, A. Ramadhana, HR. Putri, A. Santoso, A. Malik, M. M Chusni, “Design and development of measurement of measuring light resistance using Light Dependent Resistance (LDR) sensors”, In. J. Phys: Conf Series., Vol. 1402, No. 4, p. 044102, 2019.