لیزر در پزشکی ۱۴۰۳/ دوره ۲۱ / شماره (۱) / ۸ صفحه

مقاله پژوهشی

بررسی عددی قابلیت پاسخ‌دهی در آشکارسازهای ناحیه مادون قرمز میانی با سمیت کم مبتنی بر نقاط کوانتومی Ag2Se-PbS

مهدی خداوردی‌زاده[1]
اصغر عسگری[2و3و4]

۱ گروه مهندسی اپتیک و لیزر، دانشکده فناوری های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

۲ دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

۳ گروه تحقیقاتی ادوات فوتونیکی، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

۴ دانشکده مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر، دانشگاه استرالیای غربی، استرالیا

نویسنده مسئول: دکتر مهدی خداوردی‌زاده

پست الکترونیک:
m.khodaverdi@uut.ac.ir

شماره تماس:
۰۹۱۴۴۴۶۵۳۹۴

چکیده

مقدمه: حسگرهای نوری‌بخش جدایی‌ناپذیر از تجهیزات مختلف در زمینه تشخیصی زیست پزشکی هستند. در این میان فناوری‌های فوتونیکی به‌علت دارابودن مزایای فراوان، برای استفاده به‌عنوان حسگر در کاربردهای پزشکی و پایش سلامت انسان، محبوبیت فراوان کسب کرده‌اند. دارابودن حساسیت بالا، امکان ادغام با ادوات الکترونیکی، فشردگی مناسب افزاره، عملکرد بدون فلز، هزینه ارزان و ایمنی الکترومغناطیسی که فناوری‌های فوتونیکی ارائه می‌کنند، لزوم مطالعه در زمینه حسگرهای نوری را توجیه می‌کنند.

روش بررسی: در این مطالعه تاثیر درصد ترکیب نقاط کوانتومی PbS و Ag2Se، همچنین تغییرات اندازه قطر و چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se در ناحیه فعال در دماهای مختلف برای بیشینه‌سازی قابلیت پاسخ‌دهی نوری مورد مطالعه قرار گرفته است. برای دستیابی به قابلیت پاسخ‌دهی نوری براساس ساختار نقاط کوانتومی ابتدا با حل خودسازگار معادلات شرودینگر و پواسون به روش تفاضل محدود، چگالی الکترون در هر تراز و پروفایل پتانسیل به‌دست‌آمده و قابلیت پاسخ‌دهی نوری آشکارساز محاسبه می‌گردد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد با افزایش درصد ترکیب نقاط کوانتومی PbS نسبت به نقاط کوانتومی Ag2Se قابلیت پاسخ‌دهی افزاره کاهش می یابد. با افزایش چگالی آلایش فیلم Ag2Se در ابتدا به‌دلیل افزایش حامل‌ها برای تحریک نوری، قابلیت پاسخ‌دهی نوری افزایش‌یافته و پس‌از رسیدن به نقطه بیشینه با افزایش بازترکیب حامل‌ها قابلیت پاسخ‌دهی نوری کاهش می‌یابد. قابلیت پاسخ‌دهی نوری با افزایش قطر نقاط کوانتومی Ag2Se به‌دلیل تأثیر محصورشدن کوانتومی، فرار حامل‌ها و اثرات تونل‌زنی افزایش‌یافته و بعد از رسیدن به نقطه بیشینه کاهشی می‌گردد.

نتیجه‌گیری: امروزه افزایش راندمان کوانتومی و قابلیت پاسخ‌دهی نوری برای حسگرهای نوری زیست‌پزشکی،چالش بزرگی برای مهندسان تجهیزات پزشکی است. به‌طورکلی بیشینه‌سازی قابلیت پاسخ‌دهی نوری موجب بهبود عملکرد، دقت و ارتقا کارایی آشکارسازهاشده و با مهندسی ساختار ادوات می‌توان به این امر دست یافت.

واژه های کلیدی: آشکارساز نوری، بیوفوتونیک، قابلیت پاسخ‌دهی نوری، نقاط کوانتومی.

مقدمه

ادواتی که یک نوع از سیگنال را به نوع دیگر تبدیل می‌کنند، آشکارساز نامیده می‌شوند. ورودی آشکارسازها می‌تواند هر نوع سیگنالی باشد، در صورتی‌که سیگنال خروجی باید به کمیت قابل اندازه‌گیری مانند جریان الکتریکی یا ولتاژ تبدیل گردد[۱]. بدین ترتیب در آشکارسازهای نوری[1] نیز فوتون‌های تابشی به آشکارساز، به جریان الکتریکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌گردند [۲].

آشکارسازهای نوری ناحیه مادون قرمز میانی ادواتی هستند که در حوزه پزشکی کاربردهای فراوانی دارند. این آشکارسازها قادر به تشخیص و تحلیل پرتوهای مادون‌قرمز که از بدن انسان ساطع می‌شوند، هستند. یکی از کاربردهای مهم این آشکارسازها تشخیص زود هنگام بیماری‌ها بوده و این آشکارسازها می‌توانند تغییرات بیوشیمیایی در بافت‌ها و سلول‌های بدن را شناسایی کنند. این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده شروع بیماری‌های مختلفی مانند سرطان یا دیابت باشند [۴-۳]. همچنین این آشکارسازها می‌توانند نقش پایش و نظارت داشته و به پزشکان این امکان را دهند که به‌طور مداوم بر وضعیت سلامت بیماران نظارت کنند [۶-۵]. بنابراین با توسعه بیشتر این تکنولوژی، می‌توان انتظار داشت که کاربردهای آن در حوزه پزشکی بیش‌از پیش گسترش‌یافته و نتایج بهتری در بهبود سلامت افراد حاصل گردد [۷].

برای آشکارسازی نور در ناحیه مادون قرمز و طول موج‌های بلند، از نیمه‌هادی‌های با گاف نواری[2] باریک به‌عنوان ماده فعال نوری استفاده می‌گردد. لذا مواد محدودی وجود دارند که دارای این قابلیت بوده و از آنها می‌توان برای آشکارسازی نور در ناحیه مادون قرمز استفاده کرد [۸]. همچنین آشکارسازهای نوری ناحیه مادون قرمز در مقایسه با آشکارسازهای ناحیه مرئی، قابلیت پاسخ‌دهی نوری کمتری را دارند [۹]. امروزه مواد استفاده شده برای ناحیه فعال آشکارسازهای نوری ناحیه مادون قرمز تجاری معمولاً در خلا و دمای بالا با روش‌های پرهزینه رشد می‌یابند. بنابراین با توجه به نیاز روزافزون برای آشکارسازی نور در این ناحیه و همچنین دستیابی به روش‌های ساخت کم‌هزینه‌تر و استفاده از مواد با قابلیت پاسخ‌دهی بالاتر، اهمیت پژوهش‌های گسترده در آشکارسازی ناحیه مادون قرمز را توجیه می‌کند [۱۲-۱۰].

معرفی اولین آشکارساز مبتنی‌بر نقاط کوانتومی در ناحیه مادون قرمز میانی براساس گذار درون باندی در مواد خود آلایش‌شده[3] با مطالعه پیشگامانه گویوت - سیونت و همکارانش[4] صورت گرفت [۱۳]. در ادامه گوبت و همکارانش[5] پیشنهاد ساختاری را دادند که در آن نقاط کوانتومی HgTe و HgSe را در یک ساختار هسته - پوسته HgSe/HgTe که به‌صورت کلوئیدی رشد یافته بودند، ترکیب کنند؛ نتایج نشان داد که در این ساختار، عملکرد آشکارساز با گذار درون باندی بهبود یافته است [۱۴]. با تکیه‌بر این دستاوردها، چن و همکارانش[6] به توسعه یک آشکارساز در ناحیه مادون قرمز میانی با قابلیت تحرک حامل بهبودیافته و کنترل دقیق آلایش نقاط کوانتومی HgSe پرداختند [۱۵].

آشکارسازهای نوری بر پایه گذار درون باندی با چالش‌هایی روبرو هستند که نیاز به بررسی و مطالعه محدودیت‌های آنها دارد [۱۶]. متأسفانه در اغلب ادوات نوری برای آشکارسازی در ناحیه مادون قرمز میانی، برای دستیابی به گذار درون باندی از فلزات سنگین به‌ویژه جیوه استفاده می گردد، لذا به‌دلیل سمیت ذاتی این مواد، نگرانی‌هایی در مورد اثرات زیست محیطی آنها بوجود آمده که کاربرد این ادوات را در زمینه‌های زیست پزشکی محدود می‌کند [۱۹-۱۷]. بنابراین یافتن مواد غیرسمی مانند نقاط کوانتومی Ag2Se و مطالعه عملکرد آنها برای ساخت آشکارسازهای نوری مادون قرمز یک مسیر امیدوارکننده در این زمینه را فراهم می کند[۲۰-۲۱].

در مطالعه حاضر، آشکارساز نوری ناحیه مادون قرمز میانی با ساختار لایه‌ای چند سدی[7] مورد مطالعه قرار گرفته است. ناحیه فعال در این آشکارساز نوری از نقاط کوانتومی Ag2Se برای جذب و گذار درون باندی، و نقاط کوانتومی PbS به عنوان لایه سد تشکیل شده است. در اینجا از شبیه‌سازی‌های عددی برای محاسبه پارامترهای اصلی آشکارسازهای نوری استفاده گردیده و

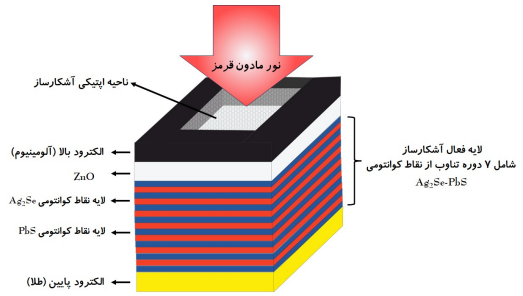
1 Photodetectors
2 bandgap

3 Self-doped
4 Guyot-sionnest et al.
5 Goubet et al.
6 Chen et al.
7 Multi-barrier

قابلیت پاسخ‌دهی افزاره با تغییر اندازه قطر و چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se و تغییر تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد افزاره مورد مطالعه قرار گرفته است.

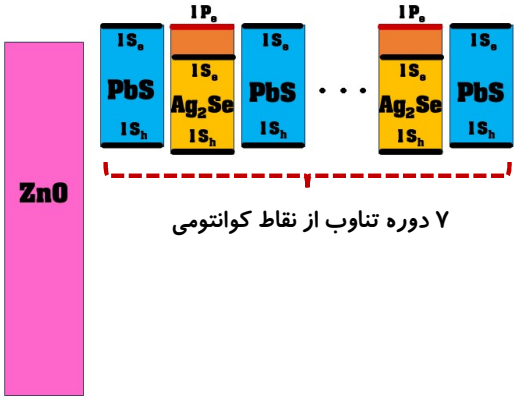
مبانی و روش‌ها

در این مطالعه برای آشکارسازی نور در ناحیه مادون قرمز میانی از ساختار پیشنهادی که به‌صورت طرح‌وار در شکل (۱) نشان داده شده، استفاده می‌گردد. این افزاره شامل لایه‌های Al/ZnO/Ag2Se-PbS multi-barrier QDs/Au بوده که در ساختار آن لایه فعال شامل لایه های با نقاط کوانتومی Ag2Se-PbS سمیت کمتری در مقایسه با ساختارهای شامل جیوه دارد. در این ساختار نور مادون قرمز میانی تابیده به افزاره توسط نقاط کوانتومی Ag2Se جذب شده و گذار درون باندی صورت می‌گیرد.



شکل ۱ : طرحواره ساختار افزاره آشکارساز نوری مادون قرمز میانی مبتنی بر نقاط کوانتومی

در طرحواره ارائه‌شده در شکل (۱)، لایه آلومینیومی به‌عنوان الکترود بالایی آشکارساز عمل می‌کند. در این ساختار، لایه ZnO به‌عنوان لایه مسدودکننده حفره[1] (HBL) برای کاهش جریان تاریک عمل‌کرده (شکل ۲)، همچنین ۷ دوره از نقاط کوانتومی Ag2Se و PbS به‌عنوان لایه فعال آشکارساز عمل می‌کنند. برای غیرفعال‌کردن نقاط کوانتومی، ابتدا فرض می‌گردد از لیگاندهای با زنجیره بلند عایق مانند اسید اولئیک[2] استفاده شده که بعداً با لیگاندهای زنجیره کوتاه رسانا مانند آمونیم تیوسیانات[3] (NH4SCN) مبادله می‌شوند. به‌منظور دستیابی به مشخصه‌های آشکارسازی از حل خودسازگار[4] معادلات شرودینگر و پواسون شروع می‌گردد.



شکل ۲: ساختار باند انرژی ناحیه فعال افزاره

معادلات شرودینگر و پواسون یک بعدی برای ساختار نقاط کوانتومی به‌صورت زیر بیان می‌گردد [۲۲و۲۳].

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2}\frac{d}{dz}\left(\frac{1}{m_e^*}\frac{d}{dz}\right)+V(z)\right]\psi_n(z)=E_n\psi_n(z) \quad (۱)$$

$$\frac{d}{dz}\left[\varepsilon(z)\frac{d}{dz}\right]\varphi(z)=-e\left(N_D(z)-n(z)\right) \quad (۲)$$

که در آن $\hbar$ ثابت کاهیده پلانک، e بار الکترون، m_e^* جرم موثر الکترون، ψ_n ویژه تابع الکترون با ویژه مقدار انرژی En ، V(z) پتانسیل، ثابت دی‌الکتریک ماده، φ پتانسیل الکترواستاتیک، ND غلظت ناخالصی‌دهنده یونیزه‌شده و n(z) تعداد الکترون در واحد حجم تراز انرژی می‌باشد. V(z) و n(z) به‌صورت زیر بیان می‌شوند[۲۴-۲۵].

$$V(z)=\Delta E-e\varphi(z) \quad (۳)$$

$$n(z)=\frac{k_BTm_e^*}{\pi\hbar^2}\sum_n ln\left[1+exp\left(\frac{E_F-E_n}{k_BT}\right)\right]|\psi_n(z)|^2 \quad (۴)$$

که در آن ΔE جابجایی نوار انرژی[5]، k_B ثابت بولتزمن، T دما و E_F انرژی فرمی می‌باشد.

با استفاده از روش حل خودسازگار معادلات شرودینگر و پواسون، ویژه تابع و ویژه مقدار انرژی مربوطه، چگالی الکترون هر تراز و پروفایل پتانسیل ساختار نقاط کوانتومی محاسبه‌گردیده و

[1] Hole Blocking Layer
[2] oleic acid
[3] ammonium thiocyanate
[4] self-consistent
[5] energy band offset

برای آنالیز ساختار افزاره استفاده می‌شود. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده جریان نوری محاسبه می‌گردد[۲۶].

چگالی جریان نوری (Iph) در آشکارساز نوری CQD، زمانی‌که تحت تابش نور مادون قرمز میانی قرار می‌گیرد درنتیجه تحریک نوری در نقاط کوانتومی حاصل‌شده و به‌صورت زیر بیان می‌شود[۲۷].

$$I_{photo} = evAFn_0\left(\beta_c + (1-\beta_c)\frac{r_{es,v}+r_{es,th}}{r_{es,v}+r_{es,th}+r_r}\right)^M + \left\{eAI_0exp(-\alpha(i-1)l_w)(1-exp(-\alpha l_w))\frac{\tau_{es,v}+\tau_{es,th}}{\tau_{es,v}+\tau_{es,th}+\tau_r}\sum_{i=1}^{M}(\beta_c+(1-\beta_c)\frac{\tau_{es,v}+\tau_{es,th}}{\tau_{es,v}+\tau_{es,th}+\tau_r})^{M-i}\right\} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) ، A ناحیه اپتیکی آشکارساز، n_0 سهم چگالی حامل[1]، $(1-\beta_c)$ احتمال جذب[2]، M تعداد تناوب نقاط کوانتومی Ag2Se-PbS که در ساختار پیشنهادی ارائه‌شده در شکل (۱)، ۷ دوره تناوب در نظر گرفته‌شده، و I_0 شدت تابش فوتون‌ها می‌باشد. همچنین $r_{es,v}$، $r_{es,th}$ و r_r به ترتیب نرخ فرار[3] ناشی از بایاس، نرخ فرار ناشی از دما و نرخ بازترکیب[4] می‌باشد، همچنین α ضریب جذب درون باندی[5] که به‌صورت زیر بیان می‌شود. [۲۷].

$$\alpha = \frac{e^2\omega n_{12}}{\varepsilon_0 c n_{ref}} M_{21} \frac{\Gamma/2}{(E_2-E_1-\hbar\omega)^2+(\Gamma/2)^2} \quad (۶)$$

که در آن Γ پهنای خط[6]، M_{21} عناصر ماتریس دو قطبی[7]، ω بسامد زاویه‌ای نور تابشی، n_{ref} ضریب شکست و n_{12} چگالی موثر الکترون بین دو زیر نوار[8] است. در نقاط کوانتومی Ag2Se-PbS مورد بررسی در این مطالعه، بیشترین ضریب جذب درون باندی در ناحیه مادون قرمز میانی قرار گرفته است.

در آشکارسازهای نوری قابلیت پاسخ دهی نوری ($\mathcal{R}$) نشان‌دهنده نسبت جریان خروجی از آشکارساز به توان نور تابیده به آن می باشد که به‌صورت زیر تعریف می گردد [۲۸].

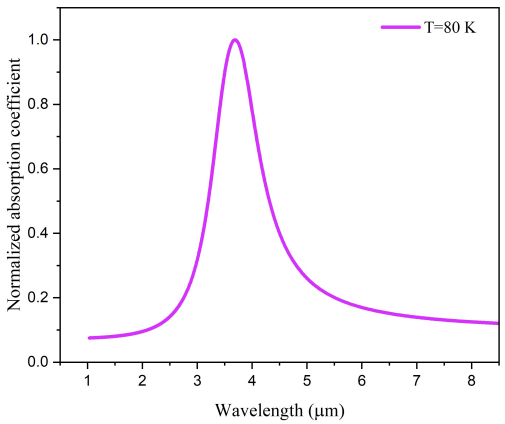
$$\mathcal{R} = I_{photo}/P_{in} \quad (۷)$$

که در آن P_{in} بیانگر توان نور تابیده‌شده به آشکارساز می‌باشد.

نتایج و بحث:

در این مقاله، برای ساختار ارائه‌شده در شکل (۱) با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، معادلات شرودینگر و پواسون به‌طور مکرر حل گردیده تا یک حل خودسازگار برای چگالی الکترون در هر تراز و پروفایل پتانسیل به‌دست آید.

در اینجا ابتدا با استفاده از رابطه (۶) نمودار ضریب جذب درون باندی برای طول موج‌های مختلف تابشی به افزاره مورد مطالعه قرار می گیرد. نمودار شکل (۳) نشان می‌دهد برای افزاره مبتنی بر نقاط کوانتومی Ag2Se-PbS ، ضریب جذب درون باندی بهینه در ناحیه مادون قرمز میانی (۳ تا ۵ میکرومتر) قرار می‌گیرد.



شکل ۳: ضریب جذب درون باندی بهنجار شده بصورت تابعی از طول موج نور تابشی

در ادامه با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، جریان نوری و درنهایت قابلیت پاسخ‌دهی آشکارساز در دماهای ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کلوین، براساس پارامترهای ارائه‌شده در جدول (۱) محاسبه می‌گردد. در اینجا برای بهبود عملکرد افزاره، به‌ویژه در آشکارسازی نور تابشی ضعیف و دستیابی به عملکرد بهتر در دماهای بالاتر، تمرکز مطالعه بر روی بیشینه‌سازی قابلیت پاسخ‌دهی افزاره با تغییر تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد ناحیه فعال (تغییر درصد ترکیب نقاط کوانتومی Ag2Se-

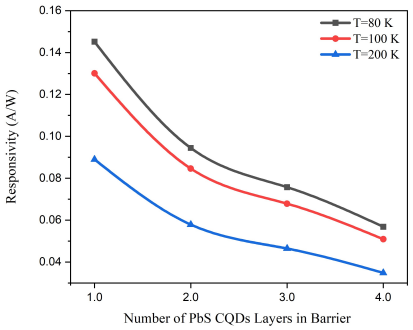
[1] Carrier concentration
[2] capture probability
[3] escape rate
[4] rate of recombination
[5] intraband absorption coefficient
[6] line width
[7] dipole matrix element
[8] the effective density of electrons between two subband

PbS در ناحیه فعال)، تغییر اندازه قطر نقاط کوانتومی و چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se در ناحیه فعال، در ولتاژ بایاس ثابت یک ولت و دماهای ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کلوین می‌باشد. نور تابشی مادون قرمز میانی تابیده‌شده به سطح بالایی افزاره توسط ناحیه فعال افزاره جذب‌شده و گذار درون باندی در نقاط کوانتومی Ag2Se صورت می‌گیرد. ناحیه فعال آشکارساز نوری از ۷ دوره تناوب از نقاط کوانتومی Ag2Se-PbS تشکیل شده است. فرض می‌گردد که نقاط کوانتومی Ag2Se و PbS شکل کروی یکنواخت دارند.

جدول ۱: پارامترهای آشکارساز نوری نقطه کوانتومی Ag2Se-PbS

پارامتر	مقدار
قطر نقاط کوانتومی Ag2Se	3 to 6 nm
قطر نقاط کوانتومی PbS	5 nm
چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se	4×1018 to 10×1018 cm-3
در صد نقاط کوانتومی Ag2Se در ناحیه فعال	50%,35%,25%,20%
توان نور مادون قرمز میانی تابیده	1 mW
مساحت ناحیه اپتیکی ورودی	200μm×200μm
قابلیت تحرک پذیری الکترون	19.4 cm2V-1s-1
ثابت دی الکتریک Ag2Se (εr)	11
ثابت دی الکتریک PbS (εr)	170
جرم موثر Ag2Se (me*)	0.32 m0
جرم موثر PbS (me*)	0.09 m0

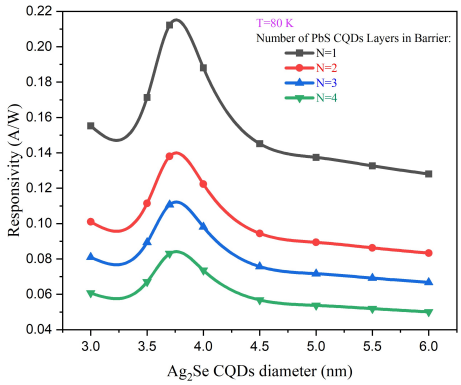
در اینجا ابتدا تغییرات تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد ناحیه فعال آشکارساز (درصد ترکیب نقاط کوانتومی Ag2Se و PbS در ناحیه فعال افزاره) بر روی قابلیت پاسخ‌دهی آشکارساز نوری مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۴) تغییرات قابلیت پاسخ‌دهی نوری افزاره را به‌صورت تابعی از تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد در دماهای مختلف با ولتاژ بایاس اعمالی ثابت ۱ ولت نشان می‌دهد. در اینجا فرض می‌گردد نقاط کوانتومی PbS و Ag2Se به‌ترتیب دارای قطر ثابت ۵ و ۴/۵ نانومتربوده، همچنین فرض می‌گردد چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se 5×1018 cm-3 می‌باشد.



شکل ٤: قابلیت پاسخ‌دهی نوری افزاره به‌صورت تابعی از تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد

نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۴) نشان می‌دهد با افزایش دما قابلیت پاسخ‌دهی افزاره کاهش می‌یابد، این کاهش را می‌توان ازطریق چندین عامل به‌هم‌پیوسته نظیر تولید حرارتی حامل‌ها و کاهش طول عمر حامل‌ها توصیف کرد. همچنین در یک دمای ثابت با افزایش تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد، به‌دلیل اثرات محصورشدن کوانتومی و کاهش کارایی جمع‌آوری حامل‌ها، قابلیت پاسخ‌دهی افزاره کاهش می‌یابد.

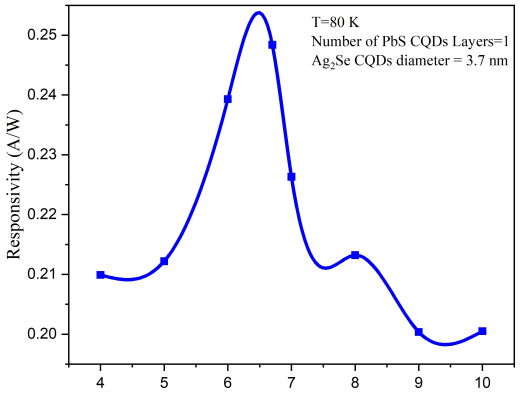
در مرحله دوم تاثیر تغییرات اندازه قطر نقاط کوانتومی Ag2Se بر روی قابلیت پاسخ‌دهی نوری آشکارساز نوری مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۵) تغییرات قابلیت پاسخ‌دهی افزاره را به‌صورت تابعی از قطر نقاط کوانتومی Ag2Se در دمای ۸۰ کلوین با بایاس اعمالی ثابت یک ولت، برای تعداد لایه‌های متفاوت از نقاط کوانتومی PbS در لایه سد افزاره را نشان می‌دهد. در اینجا فرض می‌گردد قطر نقاط کوانتومی PbS ۵ نانومتر بوده و همچنین فرض می‌گردد چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se 5×1018 cm-3 می‌باشد.



شکل ٥: قابلیت پاسخ‌دهی نوری افزاره به‌صورت تابعی از قطر نقاط کوانتومی Ag2Se

شکل (۵) نشان می‌دهد افزایش قطر نقاط کوانتومی Ag2Se ابتدا موجب افزایش قابلیت پاسخ‌دهی در افزاره گردیده و پس‌از رسیدن به قطر بهینه ۳/۷ نانومتر، قابلیت پاسخ‌دهی افزاره کاهش می‌یابد. در قطر بهینه، بیشینه قابلیت پاسخ‌دهی ۰/۲۱ A/W، در دمای ۸۰ کلوین برای حالتی که یک لایه از نقاط کوانتومی PbS در لایه سد، لایه نشانی شده باشد، حاصل می‌گردد.

در مرحله آخر با درنظرگرفتن دمای بهینه، تعداد لایه بهینه نقاط کوانتومی PbS و قطر بهینه نقاط کوانتومی Ag2Se، اثر تغییر چگالی آلایش فیلم[1] نقاط کوانتومی Ag2Se بر قابلیت پاسخ‌دهی آشکارساز نوری مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۶) تغییرات قابلیت پاسخ دهی را به صورت تابعی از چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se در دمای ۸۰ کلوین تحت ولتاژ بایاس اعمالی ثابت یک ولت نشان می‌دهد. در این مرحله فرض می‌گردد قطر نقاط کوانتومی Ag2Se، ۳/۷ نانومتر بوده و یک لایه از نقاط کوانتومی PbS با قطر ۵ نانومتر در در لایه سد، لایه نشانی شده‌باشد.



شکل ٦: قابلیت پاسخ دهی نوری افزاره بصورت تابعی از چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se

نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۶) نشان می‌دهد با افزایش اولیه چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se، قابلیت پاسخ‌دهی به‌دلیل افزایش تعداد الکترون‌ها، افزایش می‌یابد بااین‌حال، با ادامه روند افزایش چگالی آلایش فیلم، چگالی الکترون‌های آزاد بیشتر می‌شود. این افزایش منجربه افزایش سرعت بازترکیب حامل‌ها می‌گردد. درنتیجه نرخ بازترکیب غالب‌شده که منجربه کاهش قابلیت پاسخ‌دهی افزاره می‌شود. در اینجا قابلیت پاسخ‌دهی بهینه‌شده نهایی افزاره در چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se ، 6.7×1018 cm-3، به بیشینه مقدار ۰/۲۴۸ A/W می‌رسد.

نتیجه‌گیری:

در این مطالعه ساختار یک آشکارساز نوری نقطه کوانتومی ناحیه مادون قرمز با ساختار چند سدی که شامل لایه‌های Al/ZnO/Ag2Se-PbS multi-barrier QDs/Au می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر تغییرات تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS در لایه سد ناحیه فعال افزاره، همچنین تاثیر تغییرات اندازه قطر و چگالی آلایش فیلم نقاط کوانتومی Ag2Se بر قابلیت پاسخ‌دهی افزاره تحت ولتاژ بایاس ۱ ولت در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که افزایش تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی PbS منجربه کاهش قابلیت پاسخ‌دهی افزاره می‌گردد. قابلیت پاسخ‌دهی افزاره با افزایش قطر نقاط کوانتومی Ag2Se پس‌از رسیدن به بیشینه مقدار در ۳/۷ نانومتر کاهش می‌یابد. همچنین با درنظر گرفتن تعداد لایه بهینه نقاط کوانتومی PbS در هر دوره تناوب از ناحیه فعال و قطر بهینه نقاط کوانتومی Ag2Se، در چگالی آلایش فیلم بهینه نقاط کوانتومی Ag2Se در 6.7×1018 cm-3 ، بیشینه مقدار قابلیت پاسخ‌دهی ۰/۲۴۸ A/W برای افزاره حاصل می‌گردد.

[1] film doping density

References

[1] Suyama, Motohiro. "Optoelectronic Sensors." Handbook of Optical Metrology: Principles and Applications (2009): 105-135.

[2] Razeghi, Manijeh. Fundamentals of solid-state engineering. New York: Springer, 2006.

[3] Ten-Domé nech, Isabel, et al. "Progress and challenges of mid-infrared spectroscopy for liver characterization focusing on steatosis, fibrosis and cancer." Applied Spectroscopy Reviews 59.4 (2024): 578-599.

[4] Contreras-Rozo, Jose A., et al. "Infrared spectroscopy technique: An alternative technology for diabetes diagnosis." Biomedical Signal Processing and Control 86 (2023): 105246.

[5] An, Donglai, et al. "Mid-infrared absorption spectroscopy with enhanced detection performance for biomedical applications." Applied Spectroscopy Reviews 58.10 (2023): 834-868.

[6] Lambrecht, Armin, and Katrin Schmitt. "Mid-infrared gas-sensing systems and applications." Mid-infrared Optoelectronics. Woodhead Publishing, 2020. 661-715.

[7] Butt, Muhammad Ali, Xavier Mateos, and Ryszard Piramidowicz. "Photonics Sensors: A perspective on current advancements, emerging challenges, and potential solutions." Physics Letters A (2024): 129633.

[8] Vella, Jarrett H., et al. "Broadband infrared photodetection using a narrow bandgap conjugated polymer." Science advances 7.24 (2021): eabg2418.

[9] Bristow, Helen, et al. "Nonfullerene-based organic photodetectors for ultrahigh sensitivity visible light detection." ACS Applied Materials & Interfaces 12.43 (2020): 48836-48844.

[10] Yu, Mengxuan, et al. "In-Synthesis Se-Stabilization Enables Defect and Doping Engineering of HgTe Colloidal Quantum Dots." Advanced Materials (2024): 2311830.

[11] Xue, Xiaomeng, et al. "High-operating-temperature mid-infrared photodetectors via quantum dot gradient homojunction." Light: Science & Applications 12.1 (2023): 2.

[12] Zeng, Longhui, et al. "Van der Waals epitaxial growth of mosaic-like 2D platinum ditelluride layers for room-temperature mid-infrared photodetection up to 10.6 μm." Advanced materials 32.52 (2020): 2004412.

[13] Deng, Zhiyou, Kwang Seob Jeong, and Philippe Guyot-Sionnest. "Colloidal quantum dots intraband photodetectors." ACS nano 8.11 (2014): 11707-11714.

[14] Goubet, Nicolas, et al. "Wave-function engineering in HgSe/HgTe colloidal heterostructures to enhance mid-infrared photoconductive properties." Nano letters 18.7 (2018): 4590-4597.

[15] Chen, Menglu, et al. "Mid-infrared intraband photodetector via high carrier mobility HgSe colloidal quantum dots." ACS nano 16.7 (2022): 11027-11035.

[16] Hao, Qun, et al. "The historical development of infrared photodetection based on intraband transitions." Materials 16.4 (2023): 1562.

[17] Tian, Yuanyuan, et al. "Mercury chalcogenide colloidal quantum dots for infrared photodetection: from synthesis to device applications." Nanoscale 15.14 (2023): 6476-6504.

[18] Miao, Sijia, and Yuljae Cho. "Toward green optoelectronics: environmental-friendly colloidal quantum dots photodetectors." Frontiers in Energy Research 9 (2021): 666534.

[19] Li, Ning, et al. "Solution-processable infrared photodetectors: Materials, device physics, and applications." Materials Science and Engineering: R: Reports 146 (2021): 100643.

[20] Wang, Yongjie, et al. "Silver telluride colloidal quantum dot infrared photodetectors and image sensors." Nature Photonics (2024): 1-7.

[21] Chang, Ruiguang, et al. "Recent advances in mid-infrared photodetection based on colloidal quantum dots: Challenges and possible solutions." Coordination Chemistry Reviews 500 (2024): 215539.

[22] Sen, Srinjoy. "Self-Consistent Solution of Schrödinger-Poisson Equations For Modeling Realistic Silicon Transistors." (2024).

[23] Gil-Corrales, John A., Alvaro L. Morales, and Carlos A. Duque. "Self-consistent study of GaAs/AlGaAs quantum wells with modulated doping." Nanomaterials 13.5 (2023): 913.

[24] Dakhlaoui, Hassen, et al. "Theoretical study of electronic and optical properties in doped quantum structures with Razavy confining potential: effects of external fields." Journal of Computational Electronics 21.2 (2022): 378-395.

[25] Woods, Benjamin D., Sankar Das Sarma, and Tudor D. Stanescu. "Electronic structure of full-shell InAs/Al hybrid semiconductor-superconductor nanowires: Spin-orbit coupling and topological phase space." Physical Review B 99.16 (2019): 161118.

[26] Hebal, H., et al. "General-purpose open-source 1D self-consistent SchrÖdinger-Poisson Solver: Aestimo 1D." Computational Materials Science 186 (2021): 110015.

[27] Billaha, Md Aref, and Mukul K. Das. "Performance analysis of AlGaAs/GaAs/InGaAs-based asymmetric long-wavelength QWIP." Applied Physics A 125.7 (2019): 457.

[28] Zeng, Longhui, et al. "High-responsivity UV-Vis photodetector based on transferable WS2 film deposited by magnetron sputtering." Scientific reports 6.1 (2016): 1-8.