# طراحی آشکارساز نوری چاہ کوانتومی مادون قرمز جهت تشخیص طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتۂ سطحی آنزیم تروپونینI

حمزه نورالهی <sup>ا</sup> سیامک محمودی <sup>ا</sup> محمد آقابلوریزاده <sup>ا</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناس ارشد فیزیک و فوتونیک، گروه فیزیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان فیزیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان آستاد فیزیک و فوتونیک، گروه فیزیک و فوتونیک، پژوهشکده فوتونیک، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان

> نویسنده مسئول: محمد آقا بلوریزاده، تلفن ۹۹۱۹۶۴۳۱۲۶۹. پست الکترونیک:mabolori@uk.ac.ir

#### مقدمه

سکتهٔ قلبی یا انفارکتوس میوکارد نوعی عارضهٔ فراگیر است که یکی از علل مهم مرگ و میر در جهان به شمار می رود. انفارکتوس میوکارد، انهدام قسمتی از عضلهٔ قلب (میوکارد) است که به علت قطع شدن جریان خون در آن قسمت از قلب روی می دهد. عروق کرونری که از سرخرگ آئورت منشعب می شوند خون غنی شده از عروق کرونری، انسداد عروق ایجاد می شود که به لخته شدن خون منجر می گردد، درنتیجه خون به بافت قلب نمی رسد و سکتهٔ قلبی رخ می دهد. سالیانه حدود هشت میلیون بیمار با درد قفسهٔ سینه در بخش فوریتها تحت درمان قرار می گیرند. برای حدود ۳۰ درصد این بیماران عارضهٔ کرونری حاد تشخیص داده می شود. ارزیابی بیماران با درد قفسهٔ سینه شامل بررسی ۱ – تاریخچهٔ خانوادگی بیمار، ۲ – معاینات بالینی و ۳ – الکتروکاردیوگرام است.

#### خلاصه

مقدمه: این تحقیق جهت بررسی آشکارکنندگی طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی(SERS) آنزیم تروپونین نوع I جهت تشخیص سکتهٔ قلبی یا انفارکتوس میوکارد صورت گرفته است. روش بررسی: در این مقاله با داشتن طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی تروپونین I، آشکارسازی برای تشخیص این آنزیم طراحی شده است. برای این منظور آشکارساز نوری چاه کوانتومی Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As/GaAs مورد استفاده قرار گرفته است. با بهینه کردن درصد مولار آلومینیوم (x) در مادهٔ سدی Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As و تعیین دقیق پهنای چاه GaAs آشکارسازی برای آشکارکنندگی مناسب در محدودهای که بیشینهٔ طیف SERS تروپونین قرار می گیرد، شبیه سازی شده است.

**یافتهها:** در این تحقیق با شبیهسازی سیستم آشکارساز نوری چاه کوانتومی و بهینه کردن پارامترهای اساسی آن جذب اپتیکی و آشکارکنندگی مناسب برای طیف SERS تروپونینI به دست آمده است.

**نتیجهگیری**: آشکارساز نوری چاه کوانتومی مادون قرمز با استفاده از تبدیل سیگنال اپتیکی به سیگنال الکترونی، ابزاری مناسب برای تشخیص بیماریها است. طراحی مناسب و بهینهٔ آشکارساز، طیف جذب اپتیکی و آشکارکنندگی قویتری را نتیجه میدهد که در نتیجهٔ آن سرعت و دقت فرآیند آشکارکنندگی را بهبود میبخشد.

**واژههای کلیدی:** آشکارکنندگی، آنزیم تروپونین I، جذب اپتیکی، چاه کوانتومی، طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی(SERS)

امروزه علاوه بر این موارد، ابداع و استفاده از روشهای نوین پیش آگاهیدهنده در این بیماری مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. تستهای تشخیص آزمایشگاهی برروی خون در تشخیص سریع و بهموقع بیماری و بررسی درمان و یا تعیین خطر حملهٔ قلبی مجدد در آینده از اهمیت خاصی برخوردار هستند. آنزیم قلبی مجدد در آینده از اهمیت خاصی برخوردار هستند. که در اثر آسیب عضلهٔ قلب در خون آزاد می شود. تروپونینها شامل سهنوع TnT , cTnT از ترکیبهای پروتئینی واحد انقباضی ماهیچههای مختلط هستند که طبق شکل ۱ مداخلهٔ میوزین با آکتین را با واسطهٔ کلسیم در عضله تنظیم میکنند[۱]. cTnC در هر دوی بافت قلبی و اسکلتی ساختار یکسانی دارد، اما تروپونینهای قلبی cTnT و cTnT نسبت به تروپونینهای اسکلتی محصول ژنهای متفاوتی هستند.



مطالعات بالینی نشان دادهاند که در اثر آسیب عضلهٔ قلب، اجزای درون سلولی از جمله آنزیم قلبی کراتینکیناز(Ck)، میوگلوبین(MB) و ایزوآنزیم آن (CK-MB)، CTnT و cTnT و cTnT در هر دوی عضلهٔ در خون آزاد میشوند[۲]. CK و BM-MS) در هر دوی عضلهٔ قلبی و اسکلتی یافت میشوند، درنتیجه درصورت صدمه به عضلهٔ اسکلتی افزایش آنها روی خواهد داد که میتواند تشخیص سکتهٔ قلبی را با مشکل روبهرو کند. برخلاف CK و CK-MB آزاد میشود قلبی را با مشکل روبهرو کند. برخلاف CT آزاد میشود و میزان آن در خون بالا میرود. غلظت تروپونین در حدود ۶-۴ ساعت اول حملهٔ قلبی از ماهیچههای قلب ۲۱۲۱ آزاد میشود ساعت اول حملهٔ قلبی از ماهیچه می اب ۲۰–۱۷ ساعت به حداکثر میزان خود mg/ml میرسد و تا ۱۰–۷ روز پس از سکتهٔ قلبی در خون قابل تشخیص است. شکل ۲ وجود نشانگرهای قلبی را بعد از سکتهٔ قلبی در خون نشان میدهد[۳].



شکل ۲: غلظت نشانگرهای قلبی در خون برحسب زمان، بعد از حملهٔ قلبی[Error! Bookmark not defined]

بنابراین انجمن ملی بیوشیمی بالینی آنزیم تروپونینI را بهعنوان شاخصی ایدئال برای تشخیص سکتهٔ میوکارد معرفی میکند[Error! Bookmark not defined.] آشکارسازی تروپونین با روش بیوشیمیایی الیزا (ELISA) امکانپذیر است، اما باتوجه به وقت گیر بودن این روش، اهمیت دستیابی به آشکارساز یا حسگری فوق حساس که بتواند با سرعت و حساسیت

بالا در دستیابی به تشخیص و درمان زودرس سکتهٔ میوکارد جایگزین تستهای تشخیص آزمایشگاهی شود، بیش از پیش روشن میشود. در این مقاله برای تشخیص تروپونین، طیف SERS مربوط به این آنزیم به آشکارساز نوری چاه کوانتومی که به این منظور طراحی شدهاست وارد شده و کمّیت آشکارکنندگی مورد بررسی قرار گرفته است.

### پراکندگی رامان

اثر رامان در سال ۱۹۲۸ میلادی [۴] کشف شد. برای مشاهدهٔ این اثر یک باریکهٔ نور به یک نمونه از مادهای که میتواند جامد، مایع و یا گاز باشد تابیده میشود و نور پراکندهشده همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با سه دسته فرکانس ظاهر میشود یعنی؛ دو فرکانس غیر از فرکانس نور تابیده شده دارد. به آن دسته از فرکانسهای جدیدی که به مقادیر کمتر از فرکانس سطحی تابیده شده جابه جا شدهاند، فرکانسهای استوکس و به آنهایی که به فرکانسهای بالاتر تغییر یافتهاند، پاداستوکس می گویند و آن دسته از نور پراکنده شده که همان فرکانس نور اولیه را دارد، مربوط به پراکندگی ریلی است. در مشاهده های آزمایشگاهی دیده شده است که شدت خطوط استوکس از خطوط پاداستوکس بیشتر است که دلیل آن در ادامهٔ بحث بیان شده است[۵].



در شکل ۴ نمودارهای ترازی تولید فرکانسهای استوکس و پاداستوکس نشان داده شدهاند. پراکندگی استوکس رامان درواقع ناشی از گذار از حالت پایهٔ g به تراز مجازی در نزدیکی تراز برانگیختهٔ n و آنگاه گذار از این تراز مجازی به تراز نهایی nاست که فرکانس نور تابیدهشده به میزان پراکندگی پاداستوکس رامان همان طورکه ملاحظه می شود در اثر گذار از تراز n به تراز مجازی n و گذار به حالت پایهٔ g حاصل می شود که افزایش فرکانسی را درپی خواهد داشت. شدیدتر بودن خط طیفی استوکس نسبت به خط طیفی پاداستوکس نیز از بزرگتر بودن احتمال حضور الکترونها در تراز g ناشی می شود

زیرا با استفاده از تابع توزیع بولتزمن در تعادل ترمودینامیکی خواهیم دید که احتمال حضور الکترونها در تراز g بهمیزان  $e_{n_g}/k_{\scriptscriptstyle B}T$  برابر بیشتر از تراز n است.



شکل ۴: نمودار تراز انرژی: پراکندگی استوکس(چپ)، پراکندگی پاد استوکس(راست)

پراکندگی خودبهخودی رامان بسیار ضعیف است. بهطوریکه حتی در یک مادهٔ چگال، سطح مقطع پراکندگی رامان استوکس تنها در حدود <sup>۲</sup>-۳<sup>-۱</sup> است. این به آن معناست که اگر نوری از یک سانتیمتر چنین مادهای عبور کند، تنها یک میلیونیم آن به فرکانس استوکس پراکنده خواهد شد. درصورتیکه شدت نور تابشی به اندازهٔ کافی بزرگ باشد، شدت نور پراکنده بسیار بیشتر خواهد بود و علت آن پدیدهای بهنام پراکندگی برانگیختهٔ رامان است. این نوع پراکندگی بسیار مؤثرتر است یعنی؛ طی وقوع چنین پدیدهای حدود ۱۰ درصد از نور تابشی به فرکانس استوکس پراکنده خواهد شد. تفاوت دیگری که بین پراکندگی خودبهخودی و القایی(برانگیخته) وجود دارد، این است که توزیع فضايى پراكندگى خودبهخودى تقريباً يكنواخت است ولى درمورد پراکندگی برانگیخته توزیع فضایی گسیل نور به مخروط باریکی در راستای تابش در جلو و عقب مادهٔ پراکننده محدود می شود. این پدیده (اثر رامان برانگیخته) در سال ۱۹۶۲ توسط رید و ودبری[۶] کشف شد و یکسال بعد اکاردت و همکاران[۷] نیز بهطور کامل آن را شرح دادند. طیف حاصل از پراگندگی رامان شدت بسیار پایینی دارد و آشکارسازی آن بسیار مشکل خواهد بود. از همینرو به معرفی مفهوم دیگری بهنام پراکندگی رامان ارتقاءيافتة سطحي مي يردازيم.

### پراکندگی رامان ارتقاء یافتهٔ سطحی

اثر پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی، SERS در سال ۱۹۷۴ توسط فلیشمن و همکاران[۸] کشف شد. وی حین آزمایش های خود شدت بالایی از پراکندگی رامان توسط مولکول های پرایدین که برروی سطح ناهموار الکترود نقره جذب شده بودند را مشاهده

كرد. روش فليشمن به اين صورت بود كه الكترود را زبر كند تا مساحت سطحش را افزایش دهد و بهدنبال آن بتواند تعداد مولکولهای جذبی بیشتری را مورد مطالعه قرار دهد. وی این افزایش شدت را به افزایش تعداد مولکولهای جذبی برروی سطح نسبت داده بود. جینمایر و وندوین[۹] و آلبرخت و کریتن[۱۰] بهطور مستقل تشخيص دادند كه شدتهاى بالاى مشاهدهشده نمی تواند در ارتباط با افزایش تعداد مولکول های پراکننده برروی سطح الكترود باشد و پيشنهاد دادند كه اين افزايش شدت پراکندگی بهدلیل جذب مولکولها برروی سطح ایجاد شده است. جینمایر و وندوین به طور تجربی یک مکانیسم افزایش میدان الکتریکی را پیشنهاد دادند درحالی که آلبرت و کریتن ابراز کردند که پراکندگی رامان تشدیدی از برهمکنش الکترونی مولکول با سطح فلزی ناشی می شود. همان طور که بعداً مشخص شد، این دو روش در مفهوم، یکسان بودند و تنها جزئیات متفاوتی را با هم داشتند. بهطور کلی می توان گفت که SERS یک تکنیک برای افزایش پراکندگی رامان توسط مولکولهای جذب شده در سطوح فلزى مى باشد [11]. فاكتور افزايش ميدان كه از رابطه:

$$R = \frac{\left|E_{loc}\right|^4}{\left|E_{in}\right|^4} \tag{1}$$



شکل ۵: شدت طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی آنزیم تروپونین I برحسب جابهجایی رامان

در این مقاله هدف، آشکارسازی طول موج مربوط به این آنزیم است. به این منظور باید آشکارسازی طراحی شود که کارکرد قابل قبولی در این محدوده داشته باشد.

# روش بررسی

آشکارسازهای مادون قرمز میانی که امروزه بهطور عمده مورد استفاده قرار می گیرند، بر پایهٔ HgCdTe می باشند که ساخت آرایههای صفحهٔ کانونی از آنها در اندازههای بزرگ، دشوار و هزينة تمامشدة آن بالا است[١۴]، درحالي كه آشكارسازهاي چاه كوانتومي اين محدوديتها را ندارند. يك چاه كوانتومي، تغييرات یتانسیل مشاهدهشده بهوسیلهٔ حاملهای بار در یک قطعهٔ کوانتومی است که در آن حاملهای بار، یک پتانسیل محدودکنندهٔ حرکت در یکی از ابعاد فضا را احساس میکنند. یک سیستم چند چاه کوانتومی یا فراشبکه مطابق شکل۶ از نشانده شدن چاههای کوانتومی روی هم تشکیل می شود و در آن اثرهای کوانتومی که در یک تکچاه مشاهده میشود، بهوجود می آید. تفاوت فراشبکه و سیستم چندچاه کوانتومی در ضخامت سد، b، فاصلهٔ بین چاههای کوانتومی است. چندچاه کوانتومیها سد ضخیمتری دارند بهطوریکه چاههای کوانتومی، مجزا از هم عمل می کنند در حالی که فراشبکهها سد ناز کتری دارند و چاههای کوانتومی بهوسیلهٔ تونلزنی از سدها با هم در ارتباط هستند. الكترون درون چاه كوانتومي در صفحهٔ عمود بر جهت رشد آزادانه حرکت میکنند و در جهت رشد لایهها ترازهای گسستهٔ انرژی را اشغال میکنند.



شکل ۶: شکل بالا: فراشبکهٔ AlGaAs/GaAs و نمودار باندی آن، .C.B باند هدایت و V.B باند ظرفیت سیستم و Egانرژی گاف نواری است. شکل پایین: ترازهای انرژی و توابع موج دو حالت اول نوار هدایت تکچاه کوانتومی را نشان میدهد.

در این مقاله برای آشکارسازی آنزیم تروپونینI که بیشینهٔ پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی آن در پنجرهٔ طیفی مادون قرمز امواج الکترومغناطیسی قرار دارد، از چاه کوانتومی-Al<sub>x</sub>Ga

As/GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As استفاده کردهایم که هم مواد سدی مناسب برای جذب فوتونهای مادون قرمز را فراهم می کند و هم در تولید فوتوالکترونها سرعت بالایی دارد که علت آن بالا بودن تحرک پذیری الکترونهای هدایت مادهٔ چاه، GaAs است و این امر خود از پایین بودن جرم مؤثر الکترونهای هدایت آن نسبت به بسیاری از مواد نیمهرسانای دیگر ناشی می شود. درصد مولار آلومینیم(X) به همراه ضخامت لایهٔ سد و چاه در تعیین مکان طیفی و تعداد ترازهای انرژی درون چاه کوانتومی نقش تعیین کنندهای دارد به طوری که با تغییر این پارامترها می توان آشکارساز مناسب برای آشکارسازی مولکول های مختلف را طراحی کرد [۱۵].

برای بهدست آوردن ترازهای انرژی الکترونی و توابع موج درون چاه کوانتومی، معادلهٔ شرودینگر را حل میکنیم. روشهای مختلفی برای حل معادلهٔ شرودینگر وجود دارد مانند روش بسط، روش ماتریس انتقال و روش تفاضل محدود که ما در این مقاله از روش سوم استفاده میکنیم. معادلهٔ شرودینگر عبارت است از:

$$\frac{-\hbar^{\mathsf{r}}}{\mathsf{r}}\frac{d}{dz}\left(\frac{1}{m(z)}\frac{d\psi(z)}{dz}\right)+V(z)\psi(z)=E\psi(z) \qquad (\mathsf{r})$$

که در روش تفاضل محدود معادلهٔ (۲) باید در محدودههای فضایی یکسان  $z = z_{i+1} - z_i$  گسستهسازی شود و سپس اثر عملگرهای دیفرانسیلی روی تابع موج میتواند تنها برحسب مقادیر تابع بسط داده شود. در روش تفاضل محدود، تعریف مشتق دوم بهصورت: (۳)

$$\frac{d}{dz} \left( A(z) \frac{d\psi}{dx} \right)_{z=z_i} \cong \frac{A_{i+1} + A_i}{2(\Delta z)^2} \psi_{i+1} - \frac{A_{i+1} + 2A_i + A_{i-1}}{2(\Delta z)^2} \psi_i + \frac{A_i + A_{i-1}}{2(\Delta z)^2} \psi_{i-1}$$
$$\psi_i = \psi(z_i) \quad \text{and} \quad A_i = 1/m(z_i) \quad \text{and} \quad A_i = 1/m(z_i)$$

$$g_i^- \psi_{i-1} + (g_i^0 + U_i) \psi_i + g_i^+ \psi_{i+1} = \varepsilon \psi_i$$
  $i = 1, 2, 3, ...N$ 

نوشته میشود که در آن:

 $g_i^{\,0} = A_{i+1} + 2A_i + A_{i-1}/2(\Delta z)^2$ ,  $g_i^{\,-} = -(A_i + A_{i-1})/2(\Delta z)^2$ ,  $g_i^{\,+} = -(A_{i+1} + A_i)/2(\Delta z)^2$ و ( $I_i = h^2 V(z_i)$  هستند. عبارت (۴) نشان میدهد که مسئله  $U_i = \hbar^2 V(z_i)$  به یک رابطهٔ ویژهٔ مقداری تبدیل شده است که ماتریس آن سه قطری به ابعاد N×N میباشد و N تعداد بازههایی است که در نظر می گیریم.

جذب درون زیر باندی در باند هدایت

یکی از کمیتهای بسیار مهم در آشکارسازهای چاه کوانتومی، قابلیت جذب نور فرودی در یک طول موج معین است. فرآیند جذب نور در یک چاه کوانتومی بر حسب طول موج تابشی به ساختار چاه بستگی دارد. جذب در یک چاه کوانتومی وقتی اتفاق میافتد که فوتون فرودی باعث گذار یک الکترون از یک حالت $\langle i|$ با انرژی  $E_i$  به حالت بالاتر  $\langle f|$  با انرژی  $E_f$  شود. با مشخص شدن توابع موج و ویژهٔ مقادیر انرژی الکترونها درون چاه میتوان ضریب جذب ساختار را با استفاده از قاعدهٔ طلایی فرمی[۱۶]:

$$\begin{split} \alpha(\omega) &= \frac{\pi \pi' e^{\tau}}{n.m_{\cdot}^{\tau} c \omega} \int_{(\tau \pi)^{\top}}^{\tau d^{+} \vec{k}} |\langle \psi_{f} | \hat{e} \cdot \vec{P} | \psi_{i} \rangle|^{\tau} [f(E_{i}) - f(E_{f})] \delta(E_{f} - E_{i} - \hbar \omega) \\ \text{ oclume Notion of the last of the last$$

عنصر ماتریسی انتقال بین زیر نواری فقط موقعی غیر صفر خواهد بود که توابع موج دارای پاریتهٔ متضاد باشند و مؤلفهٔ عرضی  $E_i$  موج الکترومغناطیسی غیر صفر باشد. از آنجاکه شدت انتقالات نوری از طریق مربع عنصر ماتریسی تعریف میشود، لذا شدت گذارهای بین نواری، متناسب با  $(\phi)^{r}(\phi)$ میشود، لذا شدت گذارهای بین صفحهٔ چاه کوانتومی و بردار خواهد بود که  $\phi$  زاویهٔ بین صفحهٔ چاه کوانتومی و بردار الکتریکی میباشد. وابستگی پارامتر جذب به جهت قطبش میدان الکتریکی یکی از عاملهای بسیار مهم در طراحی آشکارسازهای چاه کوانتومی است که باید درنظر گرفته شود.

آشکارکنندگی ویژه نسبت جریان پالسی خروجی به جریان نوفه است که به مساحت سطح آشکارساز و بازهٔ فرکانسی آن بهنجار شده است[۱۷] و بهصورت:

$$D_{\lambda}^{*} = \frac{R\sqrt{A\Delta f}}{i_{n}} \tag{(6)}$$

تعریف میشود که در آن  $D_{\lambda}^{*}$  آشکارکنندگی ویژه برای تابش با طول موج  $\lambda$  میباشد. R پاسخدهی، A مساحت سطح آشکارساز، i<sub>n</sub> جریان نوفه و  $\Delta f$  بازهٔ فرکانسی است که در آن بازه میخواهیم آشکارسازی انجام دهیم. پاسخدهی در یک آشکارساز، نسبت جریان خروجی ( $(\phi \cdot hv)$ ) به توان تابشی( $(\phi \cdot hv)$ ) میباشد و عبارت است از:  $R(\lambda) = q \cdot \eta(\lambda)/hv$  که p بار

الکترون، hυ انرژی نور تابشی، φ شار تابشی و (η(λ بهرهٔ کوانتومی است.

#### یافته ها

طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی آنزیم تروپونین I دارای چندین بیشینهٔ متفاوت میباشد که بیشترین شدت طیف در ۱۰۲۵ cm<sup>-1</sup> و یا ۹/۸ μm قرار دارد[۱۳]. این طول موج در پنجرهٔ طیفی مادون قرمز میانی قرار می گیرد.

برای آشکارسازی این بیشینهٔ طیفی بهوسیلهٔ چاههای کوانتومی  $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$   $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$  موج  $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$  موج  $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$  موج  $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$  موج  $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$  موج  $AI_xGa_{1-x}As/GaAs$  وجود دارد. با انتخاب درصد مولار آلومینیوم  $L_b$ =۴۰۰A و مخامت سد  $Ka_{10}$  و موج  $Ka_{10}$  و موج  $Ka_{10}$  و موج  $Ka_{10}$  و مرح مولار آلومینیوم  $L_b$  مرح و دارد. با انتخاب در  $L_b$  و مود مارت سد  $Ka_{10}$  ( $Ka_{10}$ ) و مرح مولار آلومینیوم  $L_b$  ( $Ka_{10}$ ) موج  $Ka_{10}$  و مخامت سد  $Ka_{10}$  ( $Ka_{10}$ ) موج  $Ka_{10}$  ( $Ka_{10}$ ) و مخامت سد  $Ka_{10}$  ( $Ka_{10}$ ) مرح ( $Ka_{10}$ ) از  $Ka_{10}$  ( $Ka_{10}$ ) ( $Ka_$ 



شکل ۷: ضریب جذب آشکارساز چاه کوانتومی برحسب طول موج طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی آنزیم تروپونینI



شکل ۸: آشکارکنندگی ویژهٔ آشکارساز چاه کوانتومی برحسب طول موج طیف پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی آنزیم تروپونینI

آشکارکنندگی ویژهٔ  $D^*_{\lambda}$  کمّیتی است که کیفیت آشکارساز را در تبدیل سیگنال نوری به سیگنال الکتریکی نشان میدهد. در منحنی شکل۸ آشکارکنندگی ویژهٔ آشکارساز در طول موج بیشینهٔ جذب تا (mHz<sup>1/2</sup>/W)<sup>۱۰</sup> ۱۰<sup>۱</sup>×۴ را نشان میدهد. در این منحنی مشاهده میشود که با افزایش تعداد چاههای کوانتومی بیشینه کاهش مییابد. این کاهش ناشی از کاهش عمق نفوذ میدان تابشی پراکندگی رامان آنزیم تروپونین به داخل لایههای زیرین چاه کوانتومی میباشد.

# بحث و نتيجه گيرى

استفاده از ساختارهای چاه کوانتومی برای کاربرد در تصویربرداری زیستی در حال گسترش است و بهطور عمده آشکارسازی طول موجهای مادون قرمز میانی بسیار مورد توجه قرار دارد. کمّیت آشکارکنندگی ویژه برای مقایسهٔ آشکارسازهای مختلف با نوع ماده یکسان استفاده میشود که در آن هرچه آشکارکنندگی بیشتر باشد، توان معادل نویز آن کوچکتر و درنتیجه حساسیت آشکارساز که در تکنولوژی تصویربرداری با دقت بالا پارامتری اساسی بهشمار میآید، بیشتر است.

این مقاله نتایج شبیهسازی آشکارکنندگی (cmHz<sup>1/2</sup>/W)<sup>۲</sup> در طول موج بیشینه را نشان میدهد که حساسیت بالای آشکارساز جهت ساخت آرایههای صفحهٔ کانونی برای کاربرد در تصویربرداری از مولکولهای زیستی از

- Boyd RW, Nonlinear Optics, 2003; Academic Press, San Diego, CA, 2<sup>nd</sup> Edition.
- 6. Reed DJ, Woodbury DM, Effect of urea and acetazolamide on brain volume and cerebrospinal fluid pressure, J. Phys. 1962; 164: 265-73.
- Eckhardt G, Hellwarth RW, McClung FJ, Schwarz SE, Weiner D, Stimulated Raman scattering from organic liquids, Phys. Rev. Lett. 1962; 9: 455-7.
- 8. Fleischmann M, Hendra PJ, McQuillan AJ, Raman spectra of pyridine adsorbed at a silver electrode, Chem. Phys. Lett. 1974; 26: 163–6.
- Jeanmaire DL, Van Duyne RP,\_Surface Raman spectroelectrochemistry part I. Heterocyclic, aromatic, and Aliphatic Amines adsorbed on the anodized silver electrode, J. Electroanal. Chem. 1977; 84: 1-20.

جمله آنزیم تروپونین I را ممکن می سازد. نتیجهٔ کار تجربی هومن محسنی و همکاران [۱۸]در آزمایشگاه BISOL دانشگاه ایلی نوی با استفاده از سی تناوب چاه کوانتومی In.<sub>/۵۳</sub>Ga.<sub>/۴۷</sub>As/InP و لایهٔ فلزی حفرهدار از جنس طلا برروی آن آشکارکنندگی به میزان (mHz<sup>1/2</sup>/W) ۲۰۰۰ در طول موج بیشینه ساخت یک را نشان میدهد. لذا نتایج تجربی گزارش شده نیز ساخت یک سیستم آشکارساز چاه کوانتومی در طول موجهای مادون قرمز میانی برای آشکارسازی آنزیم تروپونین I را امکان پذیر می داند.

ساخت آرایههای صفحهٔ کانونی از آشکارسازهای چاه کوانتومی در محدودهٔ طیفی مادون قرمز نیازمند حساسیت بالا و پاسخدهی مناسب آن است که این امر به عمق نفوذ نور به داخل لایههای زیرین چاههای کوانتومی وابسته است. لذا افزایش برهمکنش نور با لایههای چاه کوانتومی راهکاری است که جهت داشتن سیستم آشکارساز با حساسیت و دقت بالاتر پیشنهاد می گردد.

# تشكر و قدرداني

این کار با پشتیبانی یکپژوهانه(گرنت) از دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان انجام شده است.

# References

- 1. McLaurin MD, Apple FS, Voss EM, Herzog CA, Sharkey SW. Cardiac troponin I, cardiac troponin T, and creatine kinase MB in dialysis patients without ischemic heart disease: evidence of cardiac troponin T expression in skeletal muscle. Clin. Chem. 1997; 43: 976-82.
- Adams JE, Bodor GS, Davila-Roman VG, Delmez JA, Apple FS, Ladenson JH. Cardiac troponin I: a marker with high specificity for cardiac injury. Circul 1993; 88: 101-6.
- Bagh ADR, Cardiac Troponin I (cTnI): New generation cardiac marker of choice, Technical Series by Tulip Group, India. http://www.tulipgroup.com/Common\_New/Tech \_Pubs\_PDF/CKTech.pdf Sighted on March 12, 2012.
- 4. Raman CV, Krishnan KS, A new type of secondary radiation, Nature 1928; 121: 501-2.

- 10.Albrecht MG, Creighton JA, Anomalously intense Raman spectra of pyridine at a silver electrode, J. Amer. Chem. Soc. 1977; 99: 5215– 7.
- 11.Maier SA, Plasmonics: Fundamentals and applications, 2007; Springer, New York.
- 12.Kerker M, Wang DS, Chew H, Surface enhanced Raman scattering (SERS) by molecules adsorbed at spherical particles: errata. Appl. Opt. 1980; 19: 4147–5.
- 13.Kumarswami N, Multiplexing immunoassay with SERS, A talk presented at NPL, London, UK. http:// www.npl.co.uk/upload/pdf/sers.pdf Sighted on March 12, 2012.

- 14.Phillips J, Evaluation of the fundamental properties of quantum dot infrared detector. J. Appl. Phys. 2002; 91: 4590-4.
- 15.Weisbuch C, Vinter B, Quantum semiconductor structure, 1991; Academic Press, London.
- 16.Xie H, Katz J, Wang WI. Growth orientation dependence of normal incidence absorption in ellipsoidal-valley quantum wells, Appl. Phys. Lett. 1992; 61: 2694-6.
- 17.Rhods WT, Quantum well infrared photodetectors, 2007; Springer, Berlin.
- 18.Wei W, Bonakdar A, Mohseni H, Plasmonic enhanced quantum well infrared photodetector with high detectivity, Appl. Phys. Lett. 2010; 96:161107.