لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۸، دورهٔ ۱۶، شمارهٔ ٤، صفحات: ۲۱–۲۵.

مقاله يژوهثي

تابش نور و ترابرد الکترونیکی در زنجیرهٔ DNA

خلاصه

مقدمه: ویژگیهای اپتوالکترونیکی مواد زیستی از زمینههای مطالعاتی نوظهور در حال پیشرفت است. در طی سالهای متمادی، DNA بهدلیل اینکه نسبت به جریان بار و اسپین خاصیت رسانایی از خود نشان داده است، در ساختارهای نانوالکترونیک مورد توجه قرار گرفته است.

روش بررسی: در این کار سعی کردهایم از DNA بهعنوان یک مولکول زیستی برای طراحی یک سویچ اپتیکی و بررسی خواص اپتیکی غیرخطی استفاده کنیم. در این راستا از توالی طبیعی ژنوم ویروس دلتای هپاتیت^۱ استفاده شده است تا بتوان از خاصیت سازگاری با بدن انسان بهره برد. در این مطالعه از مدل PBD بهانضمام مدل نردبانی CL برای بررسی سیستم با استفاده از رهیافت آشوب استفاده کردهایم.

یافته ها: سری زمانی جریان الکتریکی عبوری نشان دهندهٔ رفتار غیر خطی توالی ویروس می باشد. همچنین با بررسی جریان بر حسب دامنهٔ نور فرودی، محدوده هایی که در آن سیستم نسبت به جریان فرودی حساسیت بالایی دارد، مشخص می شود و با مطالعهٔ نمودار مشخصهٔ جریان - ولتاژ می توان محدوه ای که در آن پدیدهٔ اهمی و مقاومت دیفرانسیلی منفی آشکار می شود را مشخص کرد. همچنین محدودهٔ دمایی که در آن سیستم رفتار بهینه ای از خود به نمایش می گذارد، مشخص می شود.

نتیجه گیری: با تغییر فرکانس و دامنهٔ نور فرودی پاسخ الکتریکی زنجیرهٔ DNA به تابش نور بررسی شده است. در مقدار دامنهٔ نور $\left(\frac{\hbar c}{er_0}\right) = 0.6$ و $\left(\frac{\hbar c}{er_0}\right) = 0.6$ به ترتیب شاهد عبور بیشترین و کمترین جریان الکتریکی از سیستم هستیم. سری زمانی جریان عبوری از DNA می تواند رفتار این سیستم با گذر زمان را نشان دهد که با افزایش زمان اندازه گیری، شاهد رفتارغیر خطی سیستم خواهیم بود. با افزایش دمای محیط در حالت کلی شاهد سیر نزولی جریان عبوری هستیم تا جایی که در دمای ذوب (X ۵۵) کمترین جریان از سیستم عبور می کند و تقریباً می توان گفت سوییچ در حالت خاموش قرار می گیرد. از سوی دیگر، نمودار مشخصهٔ V-I مناطق شبه اهمی و DNA را نشان می دهد که عرض این نواحی در محدودههای ولتاژ متفاوت تغییر می کند.

واژههای کلیـــدی: اپتوالکترونیک، دیانای، منحنی مشــخصهٔ جریان-ولتــاژ، مقاومت <u>شبهاهمی، مقاومت دی</u>فرانسیلی منفی سميرا فتحى زاده ^١ الهه جوانشور ^٢ سهراب بهنيا ^٣ فاطمه نعمتي ^٤

۱. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک،
 دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

 ۳. استاد تمام، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

دانشـجوی دکتری، گروه فیزیک، دانشـگاه
 صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

نویسندهٔمسئول: ســمیرا فتحی زاده تلفن: ۰۹۱۴۳۹۱۳۴۹۳ پست الکترونیک: s.fathizadeh@sci.uut.ac.ir پست الکترونیک:

مقدمه

در میان پیشرفتهای برجستهٔ اخیر، لیزر ٔ جایگاهی رفیع به خود اختصاص داده است. سازو کارهای متفاوتی نظیر برهمکنش گرمایی به هنـــگام پرتودهی نور لیزر بر بافت بیولوژیک روی میدهد[۱]. برهمکنش گرمایی به کلیهٔ آثاری اطلاق می شود که افزایش دمای موضعی پارامترهای متغیر در آن باشـد. این آثار گرمایی می توانند به وسیلهٔ لیزرهای پالسی یا موج پیوسته ایجاد شوند[۲]. برهمکنش گرمایی از جمله واکنشهایی است که هنگام تابش لیزر برروی سیســـتمهای بیولوژیک ایجاد می شود و در لیــز پزشــکی بهویژه در جراحــی لیزری^۲ کاربرد بهســزایی دارد. ازطرفی نور لیرز دارای خواص منحصر به فردی مانند تکرنگ بودن، تکفام بودن و درخشندگی در واحد زاویهٔ فضایی با شدتهای متفاوت است که بهطور گستردهای در علوم پزشکی و زیستی به کار برده می شود [۳]. اخیراً تحقیقات تجربی بسیاری روی مواد آلے از جمله گرافن برای بررسے خواص اپتیکی و تحقق برنامه های الکترونیکی و نوری با قابلیتهای مکانیکی پیشرفته مانند الکترودهای شفاف انعطاف پذیر یا دستگاههای حسگر لمسے با مساحت بزرگ صورت گرفته است [۴و۵]. مولکولهای زیستی از خود خواص الکتریکی و نوری نشان میدهند [۶]. در ایــن مطالعه دی-اکسی یبونوکلئیک اســید (دیان ای) بهعنوان یک مولکول زیستی با قابلیت سازگاری با سیستمهای بیولوژیک و بهعنوان گزینهای مناسب برای مطالعهٔ پدیدهٔ ایتوالکترونیک در سوپیچهای نوری مورد استفاده قرار می گیرد. DNA دارای خواص مواد منحصر به فردی است که دانشمندان مواد، نانوتکنولوژیستها و مهندسان را جذب خود کرده است[۷]. مولکول DNA از یک مارپیچ دو رشتهای تشکیل شده است که هر رشته شامل یک مجموعهٔ پلیمری از نوکلئوتیدهاست و هر نوکلئوتید از سه قسمت قند، بازهای آلی و گروه فسفات تشکیل شده است[۸]. در این پژوهش لیـزر مادون قرمز بهعنوان یـک منبع نوری نقطهای، جهت تابش نور روی DNA مورد استفاده قرار می گیرد. خواص ایتیکی DNA در سالهای اخیر توجه وسیعی را به خود معطوف کرده است و تبدیل به یک گرایش در فوتوبیولوژی شده است[۹]. دستگاههای مولكولى با قابليت پاسخدهى فتوالكتريكى مىتوانند با اعمال محركهاى خارجی مانند نور و حرارت در زمینهٔ سوییچهای نوری و سنسورهای زیستی مورد استفاده قرار گیرند[۱۰]. با اعمال یک ولتاژ خارجی، سیستم می تواند بین حالات روشن و خاموش سوییچ کند. ضروری است کے بر مبنای یک مدل ریاضی نسبت به مطالعهٔ خواص اپتیکی اقدام شــود. تاکنون مدلهای متفاوتی برای مدلســازی معرفی شده است که در این مطالعه از ترکیب مدل پیارد-بیشاپ-داکسیوس(PBD)^۴[۱۱] به

1. Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

- 2. Laser Surgery
- 3. Deoxyribonucleic acid
- 4. Peyrard-Bishop-Daouxious

انضمام مدل نردبانی ^۵CL [۲۱] برای مطالعهٔ سیستم استفاده شده است. در این پژوهش بهدلیل غیرخطی بودن سیستم از رهیافت سیستمهای دینامیکی غیرخطی برای تحلیل سیستم استفاده شده است[۱۳]. در این راستا معادلات تحول سیستم از هامیلتونی آن استخراج میشوند. در این مقاله محدودهٔ دامنهٔ نوری، فرکانس نوری و همچنین دمای مناسب برای رانش مناسب جریان الکتریکی بررسی شده است و همچنین با رسم نمودار جریان-ولتاژ، شاهد شکل گیری محدودههایی شبهاهمیک رسم نمودار جریان-ولتاژ، شاهد شکل گیری محدودههایی شبهاهمیک NDR به حالتی گفته میشود که در آن با افزایش ولتاژ، شاهد کاهش جریان باشیم. این پدیده قبلاً در مطالعهٔ رفتار سوییچ مولکولی ATGAGCCAAGTTCCGAACAAGGATTC مشاهده شده است[۱۴]. در این مقاله از توالی ژنوم ویروس دلتای GCGGGGAGGATAGATCGGACGAGGG

روش بررسی

راست و غوطهور در حمام گرمایی

در سالهای اخیر، برای مطالعهٔ ساختار DNA و بررسی خواص الکتریکی آن، مدلهای متفاوتی ارائه شده است. در سال ۱۹۹۳ پیارد، بیشاپ و داکسیوس مدل یک بعدی PB [۱۱] مربوط به دینامیک غیرخطی ذوب DNA را با جملهٔ غیرخطی اندرکنش بازها در یک رشته تصحیح کردند و مدل PBD را ارائه نمودند. در این کار، مدل PBD همراه با مدل CL استفاده شده است (۱۲]. تصویر شماتیکی از مدل که برای مطالعهٔ سیستم استفاده شده است در شکل ۱–الف نشان داده شده



5. Charge ladder



شكل۲: زنجيرة مولكول DNA متصل به الكترودها

عبارات H_{lead} و H_{lead-DNA} نيز هاميلتونی مربوط به الکترودها و اندر کنش آنها با زنجیرهٔ DNA هستند که به صورت زیر بیان می شوند[۱۶]:

$$H_{Lead} = \sum_{j=1,2} \sum_{k} (\varepsilon_{L_{j,k}} + \frac{eV_{b}}{2}) a_{L_{j,k}}^{+} a_{L_{j,k}} + \sum_{j=1,2} \sum_{k} (\varepsilon_{R_{j,k}} - \frac{eV_{b}}{2}) a_{R_{j,k}}^{+} a_{R_{j,k}}$$

$$(A$$

$$H_{lead-DNA} = \sum_{i=1,2} \sum_{k} (t_{L} a_{L_{j,k}}^{+} c_{i,j} + t_{R} a_{R_{j,k}}^{+} c_{j,N} + H.c)$$

که $a_{\beta,k}^+$ ($a_{\beta,k}$) با R = L, R، عملگر خلق (فنا) الکترون در الکترود β $a_{\beta,k}^+$ ، انرژی روی سایت الکترودها، V_{μ} ولتاژ بایاس و t_{β} عناصر ماتریس تونلزنی از سایت k^- ام الکترود β به زنجیرهٔ DNA میباشد. در مطالعهٔ کنونی، بیشتر جملات هامیلتونی غیرخطی هستند و حساسیت بالایی به شرایط اولیه دارند. از طرفی تحلیل سری زمانی حاصل از معادلات تحول DNA نشان میدهد که تحول فضایت این مولکول همانند تحول سیستمهای آشوبناک است. معادلات حاکم بر قسمت الکترونی با استفاده از رابطهٔ هایزنبرگ که به صورت زیر تعریف می شود، استخراج می شوند[17]:

$$\dot{a}_n = \frac{-i}{\hbar} [a_n, \mathbf{H}] \tag{9}$$

$$\dot{c}_n = \frac{-i}{\hbar} [c_n, \mathbf{H}] \tag{1}$$

از طرفی، معادلات تحول کلاسـیکی سیسـتم مربوط به جفت بازها را میتوان از معادلات هامیلتونی استخراج کرد:

$$\ddot{y}_{n} = \frac{2a_{n}D_{n}}{m}\exp(-a_{n}y_{n})\left(\exp(-a_{n}y_{n})-1\right) + \frac{kb\rho}{2m}\left[\exp(-b(y_{n}+y_{n-1}))\right]$$

$$(1)$$

$$(y - y_{n})^{2} + \exp(-b(y_{n}+y_{n}))(y_{n}-y_{n})^{2} - \frac{k}{2}\left[(1+\rho\exp(-b(y_{n}+y_{n-1}))(y_{n}-y_{n})-1\right] + \frac{kb\rho}{2m}\left[\exp(-b(y_{n}+y_{n-1}))(y_{n}-y_{n})-1\right] + \frac{kb\rho}{2m}\left[\exp(-b(y_{n}+y_{n}))(y_{n}-y_{n})-1\right] + \frac{kb\rho}{2m}\left[\exp(-b(y_{n}+y_{n}))(y_{n}-y_{n})-1\right] + \frac{kb\rho}{2m}\left[\exp(-b(y_{n}+y_{n}))(y_{n}-y_{n})-1\right] + \frac{kb\rho}{2m}\left[\exp(-b(y_{n}+y_{n})-1\right] +$$

$$+\rho \exp\left(-b \left(y_{n+1}+y_{n}\right)\right)\left(y_{n+1}-y_{n}\right)-\frac{2pt_{\perp}}{m}\exp\left(-p_{i}\right)\left|\left\langle c_{1,i}^{t}c_{2,i}\right\rangle\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}\right)\left(\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|-\frac{\left|\left\langle c_{1,i}^{t}c_{2,i}\right\rangle\right|}{2}\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}\right)\left(\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|-\frac{\left|\left\langle c_{1,i}^{t}c_{2,i}\right\rangle\right|}{2}\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}\right)\left(\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|-\frac{\left|\left\langle c_{1,i}^{t}c_{2,i}\right\rangle\right|}{2}\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}\right)\left(\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|-\frac{\left|\left\langle c_{1,i}^{t}c_{2,i}\right\rangle\right|}{2}\right)\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}\right)\left(\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|-\frac{\left|\left\langle c_{1,i}^{t}c_{2,i}\right\rangle\right|}{2}\right)\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}\right)\left(\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|-\frac{\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|}{2}\right)\left|\left\langle n_{1,i}n_{2,i}\right\rangle\right|+\frac{V_{\perp}}{m}\chi \exp\left(-\chi_{i}n_{2,i}\right)\left|\left\langle n_{1,i}n_$$

$$() \Upsilon$$

$$i\hbar\dot{c}_{i,j} = (2\varepsilon_{i,j}) c_{i,j} - V_{j,i,j-1}c_{j,j-1} - V_{j,j,i-1}c_{j,j-1} + V_{1}c_{j,j}c_{j,i+1}^{+} - t_{1}c_{j,j+1} - t_{\perp} \exp(-p_{-1}) (c_{2,j} + c_{1,j})$$

$$V_{i} \exp(-p_{i,j}) \left[c_{i,c}c_{j,+}^{+} + c_{i,c}^{+}c_{i,j}\right] c_{2,j} + \frac{U}{(n_{i,i} + H,C)} c_{i,j} + \sum_{i,j} (\delta_{i,i}, a_{i,j} + \delta_{i,j}, a_{i,j})$$

$$i\hbar \dot{a}_{L,k} = \left(\varepsilon_{L,k} + \frac{ev_b}{2}\right)a_{L,k} + t_L a_1 \tag{17}$$

$$i\hbar \dot{a}_{R,k} = \left(\varepsilon_{R,k} - \frac{ev_b}{2}\right)a_{R,k} + t_R a_N \tag{14}$$

است. درنتیجه هامیلتونی کلی به صورت زیر نوشته می شود:

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_{PBD} + \mathbf{H}_{\ell} + \mathbf{H}_{E} + \mathbf{H}_{lead} + \mathbf{H}_{lead-DNA}$$
(1)

در رابطهٔ ۱، H_{CL} هامیلتونی مربوط به مدل H_{CL} ،PBD هامیلتونی $H_{tead-DNA}$ هامیلتونی مـدان الکتریکی، $H_{tead-DNA}$ و $H_{tead-DNA}$ مـدل نردبانـی، $H_{tead-DNA}$ هامیلتونی میـدان الکتریکی، مولکول DNA به ترتیب هامیلتونی مربوط به الکترودها و اندرکنش بین مولکول DNA با الکترودها میباشـد. هامیلتونی H_{PBD} شامل جملات زیر است (تصویر ساده)ی از مدل PBD در شکل ۱-ب نشان داده شده است)[1]:

$$H_{DNA} = \sum_{n} \frac{1}{2} m \dot{y}_{n}^{2} + V(y_{n}) + W(y_{n} + y_{n+1})$$
(Y

 $V(y_n) = D_n(e^{a_n y_n} - 1)$ که ($V(y_n)$ ، پتانسیل مورس میباشد که به فرم ($V(y_n)$ ، پتانسیل معرفی است. انرژی تودهای بین جفت بازهای مجاور هم به صورت زیر معرفی می شود[۱۱]:

$$W(y_{n}, y_{n+1}) = \frac{K}{2} (1 + \rho \exp(-\alpha(y_{n} + y_{n+1}))) (y_{n+1} - y_{n})^{2} \qquad (\%$$

جملــهٔ دوم در رابطهٔ۱، (H_{CL}) مربــوط به هامیلتونی مــدل نردبانی میباشد که بهصورت زیر بیان میشود[۱۲]:

$$\begin{aligned} & (\mathbf{f} \\ \mathbf{H}_{\mathrm{CL}} = \sum_{j=1,2} \sum_{i} \mathcal{E}_{j,i} \Big(c_{j,i}^{\prime} c_{j,i} + \mathrm{H.C.} \Big) - t_{1} \sum_{j=1,2} \sum_{i} \Big(c_{j,i}^{+} c_{j,i+1} + H.C \Big) - t_{\perp} \sum_{i} \exp(-p y_{i}) \Big(c_{1,i}^{+} c_{2,i} + H.C \Big) \\ & + \frac{U}{4} \sum_{j=1,2} \sum_{i} n_{j,i}^{2} + V_{1} \sum_{j=1,2} \sum_{i} n_{j,i} n_{j,i+1} + V_{\perp} \sum_{i} \exp(-\mathcal{D}_{i}) n_{i,i} n_{2,i} \end{aligned}$$

در این رابطه $\int_{0} e^{1}$ بهترتیب، تعداد رشتهها و تعداد سایتها در هر رشته میباشد. (f_{i}, f_{i}, f_{i}) عملگر خلق (فنا) یک الکترون در سایت (f_{i}, f_{i}) , u_{i}^{s} انرژی روی سایت الکترون، f_{i} انرژی پرش بین جفت بازهای مجاور، f_{\perp} انرژی پرش بین جفت بازهای داخلی، p ثابت جفت شدگی، Y_{i} کشش باندا ام، V_{i} برهمکنش کولمبی بین بازهای مجاور، برهمکنش کولمبی بین بازهای مکمل، χ معکوس طول دبای میباشد.

جملهٔ ســوم در رابطهٔ۱، (H_E) هامیلتونی میدان الکتریکی نور تابشــی بهصورت زیر میباشد[۱۱]:

$$\mathbf{H}_{E} = -t_{\parallel} \sum_{j=1,2} \sum_{i} \left[\exp\left(\frac{ier_{0}}{\hbar c} A(t)\right) c_{j,i}^{t} c_{j,i+1} + \mathbf{H.C.} \right] \qquad (\Delta$$

در معادلهٔ فــوق، ۲۵، C ،e ت ترتیب، فاصلهٔ ثابت بین بازهای مجاور در یک رشته، بار الکتریکی و سرعت نور میباشند همچنین (A(t بردار موج مربوط به میدان الکتریکی است که بهصورت زیر بیان میشود[۱۱]:

$$A(t) = A_0 \cos(\omega t) \exp\left[-\frac{(t - t_c)^2}{2\tau^2}\right]$$
 (8)

که در آن ۵، ۲، A₀ فرکانس، نصف پهنای پالس و دامنهٔ موج می اشد. همان طور که گفته شد، DNA مطابق شکل ۲ بین دو الکترود ثابت شده است:

يافتهها

جریان الکتریکی را میتوان از معادلات حرکت با استفاده از معادلهٔ پیوستگی بار-جریان استخراج کرد[۷]. بهطوریکه از معادلهٔ پیوستگی بار-جریان استخراج کرد[۷]. بهطوریکه $i\hbar \dot{a}_{R,k} = \left(\varepsilon_{R,k} - \frac{ev_b}{2}\right)a_{R,k} + t_Ra_N$ که در آن I_i عملگر جریان موضعی $n_i = c_i^i c_i$ میباشد. بنابراین جریان الکتریکی عبوری از سیستم بهصورت زیر بهدست میآید:

$$I = \frac{-ie}{\hbar} \{ \sum_{n} V_{n,n+1} (c_n^+ c_{n-1} - c_{n-1}^+ c_n) + V_{n,n+1} (c_n^+ c_{n+1} - c_{n+1}^+ c_n) + \sum_{j,k} t_L [a_{j,k,L}^+ c_{j,1} - c_{j,1}^+ a_{L,j,k}] + \sum_{j,k} t_R [a_{j,k,R}^+ c_{j,N} - c_{j,N}^+ a_{R,j,j}] - t_L \sum_{j,k} [c_{j,n+1}^+ c_{j,k-1}^- c_{j,k-1}^+ c_{j,$$

در این کار، تمامی پارامترهای سیستم مطابق مرجع [۱۲] انتخاب شدهاند.

سری زمانی

سری زمانی جریان عبوری از سیستم میتواند بهعنوان یک مشخصهٔ رفتار خطی یا غیرخطی سیستم را مشخص نماید. همان طور که از شکل ۳ مشاهده می شود، جریان نسبت به زمان به صورت تناوبی تقریباً منظم تغییر می کند. سری زمانی برای زمان کوتاه حدود ۱۰۰۰ پیکوثانیه اندازه گیری شده است. با ادامهٔ اندازه گیری میتوان شاهد رفتار کاملاً غیر خطی و حتی نامنظم در جریان عبوری از سیستم بود.

اثر فرکانس و دامنهٔ نور فرودی

فرکانس و دامنهٔ نور اعمال شده از عوامل تأثیر گذار روی جریان الکتریکی عبوری از سیستم هستند که برروی فرآیند سوییچ تأثیر می گذارند. برای این کار ما فرکانسس و دامنهٔ نور را تغییر می دهیم و جریان الکتریکی عبوری از DNA را مطالعه می کنیم. بدین منظور، دامنهٔ متغیر نور فرودی در محدودهٔ (۱-۰) در واحد $\left(\frac{\hbar c}{er_0}\right)$ و محدودهٔ فرکانس نور فرودی در بازهٔ (۰–۵) (THz) می باشد. شکل ۴ تغییرات جریان را با توجه به فرکانس نور اعمال شده نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که برای یک فرکانس مشخص جریان به بیشترین مقدار خود می رسد تا جایی که در فرکانس می I=4 nA عبور می کند. همچنین در فرکانسهای I=4 nA و تا از جریان را ا



شکل۳: سری زمانی جریان عبوری از توالی ویروس

یستم عبور نمی کند، $\omega = 2 \ THz$ تقریباً می توان گفت هیچ جریانی از سیستم عبور نمی کند، پس می توان محدودهای از فرکانس نور تابشی که جریان بیشینه از سیستم عبور می کند را به دست آورد.

تغییرات دامنهٔ نور نیز میتواند عامل تأثیر گذاری در انتقال بار در زنجیرهٔ DNA باشـد. با توجه به شـکل ۵ بیشترین مقدار جریان تقریباً در $\frac{hc}{er_0}$ از سیسـتم عبور میکند، یعنی مناسبترین محدودهٔ دامنهٔ نور برای عبور بیشترین جریان از سیستم در این محدوده میباشد. پس با تنظیم فرکانس و دامنهٔ نور فرودی، سیسـتم میتواند همانند یک سوییچ عمل کند.

اثر ميدان الكتريكي

انتقال جریان در یک سیستم مولکولی زیستی از طریق تغییر ولتاژ میتواند کنترل شود. در مطالعهٔ اخیر تأثیر تغییرات ولتاژ را روی رسانایی الکتریکی نور در غالب منحنی مشخصهٔ جریان-ولتاژ بررسی می کنیم. بدیسن منظور توالی DNA را به الکترودهایی با ولتاژ قابل کنترل متصل می کنیم. ویژگیهای نمودار V-I سیستمهای مولکولی بیانگر پتانسیل بالای این سیستمها برای کاربردهای غیرخطی، مقاومت دیفرانسیلی منفی و سوییچ جریان الکترواستاتیک و الکترومکانیک است[۷۱۹۸]. بنابراین در شکل ۶ ناحیهٔ شبهاهمی و مقاوت دیفرانسیل منفی(NDR) مشخص شده است. همان طور که در شکل مشخص شده است، برای یک فرکانس ثابت درابتدا شاهد رفتار شبهاهمی در سیستم هستیم. با افزایش



شکل۵: جریان برحسب دامنهٔ موج نور فرودی



شکل ۶۰ نمودار جریان برحسب ولتاژ برای ویروس پتانسیل اعمالی شیب نمودار V-I به منفی تغییر می کند. بهعبارت دیگر شاهد بروز پدیدهٔ NDR هستیم. مجدداً با افزایش ولتاژ شاهد تکرار متناوب این نواحی هستیم. شایان ذکر است که عرض نواحی شبهاهمی و NDR با افزایش ولتاژ تغییر می کند. پس به عبارتی می توان بیان کرد که با تغییرات ولتاژ ، جریان در سیستم کنترل می شود و سیستم در محدودههایی بهعنوان سیم (محدودهٔ شبهاهمیک) و در محدودههایی بهعنوان سویچ (محدودهٔ NDR) عمل می کند.

اثر دما

DNA دمای محیط از عوامل تأثیر گذار در مطالعهٔ خواص انتقال بار در DNA میباشد. دمای محیط را بهوسیلهٔ ترموستات میتوان تغییر داد. به عبارتی یک ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا یک ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا دما از ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا دما از ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا دما از ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا می می ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا محا از ترموستات دینامیک مولکولی، حمام حرارتی را به کل سیستم یا دما از ترموستات نوز-هوور ² [۲۰] بهعنوان منبع حرارت استفاده شده است. معادلهٔ تحول ترموستات به صورت $N_{\rm B}^{-7} - N_{\rm K}$ مقدار آن می شود که در این رابطه M ثابت ترموستات نوز-هوور است که مقدار آن می شود که در این رابطه M ثابت ترموستات نوز-هوور است که مقدار آن می شود که در این رابطه M ثابت ترموستات نوز-هوور است که مقدار آن می شود که در این رابطه M ثابت ترموستات نوز-هوور است که مقدار آن می شود که در این رابطه M ثابت ترموستات نوز-موور از آن جریان حداکثر از موستان می می شود که در این رابطه M ثابت مولی می شود که در آن جریان حداکثر از موستان می می می شود. می می می می می شود که در آن جریان حداکثر از ما می توانیم طیفی از دما را به دست آوریسم که در آن جریان حداکثر از طریق DNA

همان گونه که مشخص است، در دماهای ۲۱۰ و ۳۵۵ بیشترین جریان عبوری از سیستم را شاهد هستیم، بنابراین این دماها را بهعنوان دمای ایدئال برای سیستم درنظر می گیریم و هچنین می توان بیان کرد در



6. Nosé -Hoover

دمای اتاق حالت سوییچ سیستم روشن است و در محدودهٔ ۳۱۵ تا ۳۳۰ درجهٔ کلوین، سیستم در حالت خاموش سوییچ می باشد. سپس در دمای K ۳۳۰ مجدداً سوییچ روشن می شود و در نهایت در K۰ ۲۴۰ خاموش می شود.

بحث و نتيجه گيري

در این کار ما سعی کردهایم انتقال جریان الکتریکی و تأثیر نور تابشی را در طراحی یک سوییچ نوری برمبنای زنجیرهٔ DNA بررسی کنیم. فرکانس و دامنهٔ نور از فاکتورهای مهم در بررسی پاسخ الکتریکی DNA به نور تابشی می باشیند. به همین منظور فرکانس و همچنین دامنهٔ نور فرودی را تغییر دادهایم تا محدودهای از این پارامترها را که در آن حداکثر جریان الکتریکی از DNA عبور می کند، بهدست آوریم. در مطالعهٔ حاضر، اثر نور فرودي از طريق تغيير يارامتر يرش الكترون بين سايتها اعمال شده و از طريق جريان الكتريكي عبوري آشكارسازي شده است. مطالعهٔ مشابه در یک مولکول نشان میدهد که با تابش نور فرابنفش با طول موج ۳۰ نانومتر، حالت بستهٔ مولکول تبدیل به حالت باز می شود و جریان عبوری از سیستم به ۶۰ میکروآمپر در ولتاژ ۲ ولت میرسد[۲۱]. اینجا سری زمانی جریان عبوری از DNA می تواند رفتار این سیستم با گذر زمان را نشان دهد که با افزایش زمان اندازه گیری شاهد رفتارغیرخطی سیستم خواهیم بود. دمای محیط از عوامل تأثیر گذار برای تنظیم و کنترل انتقال بار DNA می باشــد که نشــان می دهد با افزایش دما در حالت کلی شاهد سیر نزولی جریان عبوری هستیم تا جایی که در دمای ذوب (۳۴۰ K) سوییچ خاموش می شود. از سوی دیگر، نمودار مشخصهٔ I-V مناطق شبهاهمي و NDR را نشان مي دهد كه عرض اين نواحي در محدودههای ولتاژ متفاوت تغییر می کند. بروز این نواحی قبلاً نیز در سوییچهای اپتیکی مولکولی مشاهده شده است[۲۲]. همچنین با کنترل عوامل محیطی میتوان شرایطی را ایجاد کرد که شاهد عمل سوییچ توسط DNA باشیم. برای ادامهٔ کار پیشنهاد می شود که اثر اسپین الکترون نیز درنظر گرفته شود تا بتوان یک سیستم سوییچ نوری برمبنای اسیین را طراحی نمود.

References:

1. Braun D, Libchaber A. Trapping of DNA by Thermophoretic Depletion and Convection. Physical Review Letters, 2002; 89(18): 188103.

2. Teixeira, G R, da Silva Marciano, R da Silva Sergio, L P Polignano, G A C Guimaraes, O R Geller, M da Fonseca, A D S. Infrared Laser Effects at Fluences Used for Treatment of Dentin Hypersensitivity on DNA Repair in Escherichia Coli and Plasmids. Optics & Laser Technology, 2014; 64: 46-52.

3. Barnes FS. Applications of Lasers to Biology and Medicine. Proceedings of the IEEE, 1975; 63(9): 1269-78.

4. Bae S, Kim H, Lee Y, Xu X, Park J S, Zheng Y, Kim Y J. Roll-to-Roll Production of 30-inch Graphene Films for Transparent Electrodes. Nature Nanotechnology, 2010; 5(8): 574.

5. Chakraborty S, Marshall OP, Folland TG, Kim YJ, Grigorenko AN, Novoselov KS. Gain Modulation by Graphene Plasmons in Aperiodic Lattice Lasers. Science, 2016; 351(6270): 246-8.

6. Keiser G. Biophotonics: Concepts to Applications. Boston: Springer, 2016.

7. Palmer MC, Takahashi M, Westman HF. WKB Analysis of Relativistic Stern–Gerlach Measurements. Annals of Physics, 2013; 336: 505-16.

8. Mashaghi A, Katan, A. A physicist's View of DNA. arXiv preprint arXiv, 2013; 1311: 2545.

9. Watson JD, Crick FH. Letters to Nature: Molecular Structure of Nucleic Acid. Nature, 1953; 171(4356): 737-8.

10. Shi Y, Zhang C, Zhang H, Bechtel J, Dalton L, Robinson B, Steier W. Low (Sub-1-Volt) Halfwave Voltage Polymeric Electro-Optic Modulators Achieved by Controlling Chromophore Shape. Science, 2000; 288(5463): 119-22.

11. Dauxois T, Peyrard M, Bishop AR. Dynamics and Thermodynamics of a Nonlinear Model for DNA Denaturation. Physical Review E. 1992; 47(1): 684.

12. Zhang LL, Xie SJ, Kang DW. Role of Photoresponse of π Electrons in Light-Driven DNA Dissociations. Physical Review E, 2017; 96(2): 022414.

13. Marquetand P, Nogueira J, Mai S, Plasser F, González L. Challenges in Simulating Light-Induced Processes in DNA. Molecules, 2016; 22(1): 49.

14. Guisinger, NP, Greene ME, Basu R, Baluch AS, Hersam MC. Room Temperature Negative Differential Resistance through Individual Organic Molecules on Silicon Surfaces. Nano Letters, 2004; 4(1): 55-9.

15. Maizels MR, Tetteh KK A, Loukas A. Toxocara Canis: Genes Expressed by the Arrested Infective Larval Stage of a Parasitic Nematode. International Journal for Parasitology, 2000; 30 (4): 495-508.

16. Behnia S, Fathizadeh S, Akhshani A. DNA Spintronics: Charge and Spin Dynamics in DNA Wires. The Journal of Physical Chemistry C, 2016; 120 (5): 2973-83.

17. Rueckes T, Kim K, Joselevich E, Tseng GY, Cheung L, Lieber CM. Carbon Nanotube-Based Nonvolatile Random Access Memory for Molecular Computing. Science, 2000; 28 (5476): 994.

18. Collier CP, Wong EW, Belohradsk M, Raymo FM, Stoddart JF, Kuekes PJ, Williams RS, Heath JRA [2] Catenane-Based Solid State Electronically Reconfigurable Switch. Science, 2000; 289(5482): 1172.

19. Evans DJ, Morriss GP. Statistical Mechanics of Nonequilibrium Liquids, Academic Press, London, 1990.

20. Behnia S, Fathizadeh S, Akhshani A. DNA in a Dissipative Environment: A Charge Transfer Approach. Journal of the Physical Society of Japan, 2015; 84(8): 084002.

21. Vollhardt D. Characteristic Crossing Points in Specific Heat Curves of Correlated Systems. Physical Review Letters, 1997; 78(7): 1307.

22. Chen F, He J, Nuckolls C, Roberts T, Klare JE, Lindsay S. Controlled growth of Si nanowire arrays for device integration, Nano Letters, 2005; 5(3): 457-60.