



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



بررسی اثر کاتد بر عملکرد سلول های خورشیدی نانو ساختار آلی

زهرا جعفرزاده دیزآبادی و سید محمد باقر قرشی

گروه لیزر و فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده- در سلول های خورشیدی آلی جریان در ناحیه فعال با جذب فوتون و تولید اکسایتون تأمین می گردد. لذا عملکرد این سلول ها با افزایش اکسایتون، بهینه می شود. ابتدا ضخامت ناحیه فعال با ثابت نگه داشتن ضخامت *CUPC* در طول موج 620nm و تغییر ضخامت *C60* مورد بررسی قرار گرفت. سپس اثر کاتد بر عملکرد سلول های خورشیدی آلی با ساختار *ITO/CUPC/C60/Cathode* بررسی شد و از کاتدهای *Al, Au, Ag, Cu, Cr, Mo* استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از شبیه سازی اپتیکی ونتایج حاصل از آن میدان الکتریکی و تعداد اکسایتون ها در هر ناحیه بر حسب ضخامت رسم گردید. در نهایت جریان اتصال کوتاه در این ساختار رسم گردید.

کلید واژه- بازدهی، سلول های خورشیدی آلی، کاتد

Cathode effect on nanostructured organic solar cell performance

Z. jafarzade dizabadi, S.M. Bagher Ghorashi

Photonics group, Faculty of Physics, University Of Kashan,

Abstract- In organic solar cells, current in the active region by photons absorbed and production exciton provided. The thickness of the active region during wave 620nm and constant thickness *CuPc* and change the thickness of the *C60* was examined. Then the effect cathode performance of organic solar cells with the structure *ITO/CUPC/C60/Cathodes* was examined. Also the cathodes, *Cr, Mo Al, Au, Ag, Cu* was used. Hence, using the optical simulated, the electric field and the number exciton In each area was calculated. Finally short-circuit current of these structures were compared.

Keywords: Efficiency, Organic solar cells, Cathode

۱- مقدمه

امروزه سلول‌های خورشیدی آلی به دلیل انعطاف پذیری، هزینه تولید کم، ساخت آسان تر در سطوح گسترده و آلودگی کمتر زیست محیطی بیشتر از سلول‌های خورشیدی معدنی مورد توجه قرار گرفته اند [1].

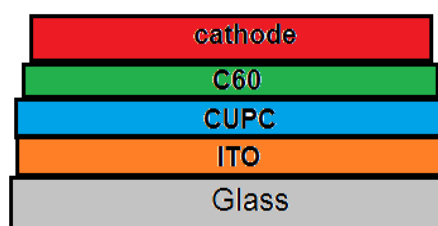
این سلول‌ها به عنوان یک قطعه الکترونیکی که با جذب انرژی خورشید انرژی الکتریکی تولید می کنند، پتانسیل خوبی برای منبع تأمین کننده انرژی در آینده از خود نشان داده است.

این سلول‌ها بر روی پلیمرهایی برنامه ریزی شده اند که تأثیر بسیار بالایی در جذب انرژی و تولید اکسایتون دارد و از تبادل انرژی و در هم آمیختن مولکول‌هایی با میل ترکیبی بالا و انرژی اندرکنش پایین، به وجود می آید.

مکانیزم تولید جریان در سلول‌های خورشیدی آلی وظیفه اکسایتون تولید شده با جذب فوتون در ناحیه فعال است. لذا با افزایش تعداد اکسایتون می توانیم عملکرد این سلول‌ها را بهینه کنیم. این مقاله اثر کاتد در تولید اکسایتون و در نهایت جریان اتصال کوتاه در ناحیه فعال را مورد بررسی قرار می‌دهد، تا بتوان بازدهی سلول‌های خورشیدی آلی را بهینه کرد [۲].

۲- ملاحظات نظری

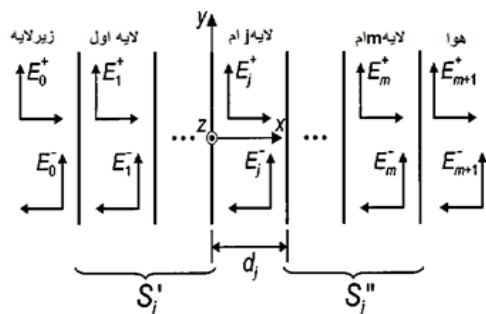
عملکرد سلول‌های خورشیدی آلی به این صورت است که پس از جذب نور (فوتون) توسط سلول، اکسایتون تولید می‌شود که این اکسایتون‌های تولید شده به سمت پیوندگاه ($p-n$) انتشار می یابد (فرایند پخش) و در آنجا اکسایتون‌ها به حامل‌های بار آزاد تفکیک می‌شوند این حامل‌ها به طرف الکترودهای مربوطه (الکترون به سمت کاتد و حفره به سمت آند) منتقل شده و توسط این الکترودها جمع آوری می شود. شکل ۱ شماتیکی از یک سلول خورشیدی آلی نشان می دهد.



شکل ۱: ساختار سلول‌های خورشیدی دو لایه ای آلی

۳- نظریه ماتریسی

در شکل ۲ طرح شماتیکی از سلول چند لایه ای نشان داده شده است. میدان الکتریکی در هر لایه برابر مجموع میدان های الکتریکی رفت و برگشت می باشد [۳].



شکل ۲: طرح شماتیکی از سلول چند لایه ای

در این مدل لایه های سلول ($j=1,2,...,m$) بین دو لایه غیر متناهی ($j=m+1, j=0$) در نظر گرفته می شود که هر لایه با ضخامت d و ضریب شکست مختلط ($\tilde{n}=n+ik$) که تابعی از طول موج است مشخص می شود. لایه $j=0$ زیر لایه $j=m+1$ هوا را مشخص می‌کند. در این نظریه تابش فرودی را عمودی و بردار قطبش را s در نظر می-گیریم ماتریس شکست برای هر لایه برابر است با [۴ و ۵].

$$I_{j,k} = \frac{1}{t_{j,k}} \begin{pmatrix} 1 & r_{j,k} \\ r_{j,k} & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

که $r_{j,k}$ و $t_{j,k}$ ضرایب فرنل میباشند که برابر است با:

$$r_{j,k} = \frac{q_j - q_k}{q_j + q_k} \quad (2)$$

$$t_{j,k} = \frac{2q_j}{q_j + q_k} \quad (3)$$

و $\tilde{n}_j = q_j$ ماتریس فاز لایه ژام برابر است با:

$$L_j = \begin{pmatrix} e^{-i\xi_j d_j} & 0 \\ 0 & e^{i\xi_j d_j} \end{pmatrix} \quad (4)$$

که

$$\xi_j = \frac{2\pi}{\lambda} q_j \quad (5)$$

میدان الکتریکی هر لایه به وسیله رابطه ۶ با میدان الکتریکی اولیه متناسب است:

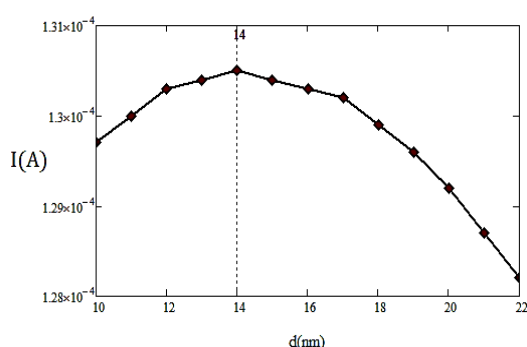
$$\begin{pmatrix} E_0^+ \\ E_0^- \end{pmatrix} = S \begin{pmatrix} E_{m+1}^+ \\ E_{m+1}^- \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$I = e \cdot \int G_j(x) dx \quad (17)$$

که e در رابطه بالا برابر بار الکترون می‌باشد.

۴- شبیه سازی و محاسبات

در این مقاله از روش شبیه سازی اپتیکی استفاده شده است. و با استفاده از نرم افزار *mathcade* ابتدا ضخامت بهینه ناحیه فعال را با ثابت در نظر گرفتن ضخامت $CuPc$ برابر $40nm$ و تغییر ضخامت $C60$ از $10nm$ تا $25nm$ محاسبه و رسم گردید. که در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار جریان بر حسب تغییر ضخامت $C60$

باتوجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که در حالت $d_{CuPc} = 40nm$ و $d_{C60} = 14nm$ بیشترین چگالی جریان را در ناحیه فعال داریم. لذا ضخامت لایه‌ها به صورت زیر انتخاب گردیدند:

$$d_{ITO} = 150nm \text{ و } d_{CuPc} = 40nm \text{ و } d_{C60} = 14nm$$

$$dcathode=100nm$$

در شکل ۴ تغییرات $|E|^2$ بر حسب ضخامت لایه‌ها برای کاتدهای Ag و Au و Al و Cu و Cr و Mo محاسبه و رسم شده است، که مشاهده می‌شود در طول موج $620nm$ در ناحیه فعال ($150nm$ تا $204nm$) این مقدار روندی نزولی دارد.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = (\prod_{v=1}^m I_{v(v-1)} L_v) \cdot I_{m(m+1)} \quad (7)$$

که در آن S ماتریس انتقال کل سیستم است که توسط رابطه ۸ با ماتریس هر لایه رابطه دارد:

$$S = \tilde{S}_j L_j \tilde{S}_j \quad (8)$$

که با توجه به شکل ۲ ماتریس انتقال لایه j ام برابر است با:

$$\begin{pmatrix} E_0^+ \\ E_0^- \end{pmatrix} = \tilde{S}_j \begin{pmatrix} E_j^+ \\ E_j^- \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} \tilde{S}_{j11} & \tilde{S}_{j12} \\ \tilde{S}_{j21} & \tilde{S}_{j22} \end{pmatrix} = (\prod_{v=1}^{j-1} I_{(v-1)v} L_v) \cdot I_{(j-1)j} \quad (10)$$

هم چنین ماتریس انتقال لایه j ام تا لایه $m+1$ ام برابر است با:

$$\begin{pmatrix} \tilde{E}_j^+ \\ \tilde{E}_j^- \end{pmatrix} = \tilde{S}_j \begin{pmatrix} E_{m+1}^+ \\ E_{m+1}^- \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\tilde{S}_j = \begin{pmatrix} \tilde{S}_{j11} & \tilde{S}_{j12} \\ \tilde{S}_{j21} & \tilde{S}_{j22} \end{pmatrix} = (\prod_{v=j+1}^m I_{(v-1)v} L_v) \cdot I_{(m+1)m} \quad (12)$$

میدان الکتریکی لایه j ام برابر است با:

$$E_j(x) = E_0 \frac{\tilde{S}_{j11} e^{-i\xi_j(d_j-x)} + \tilde{S}_{j21} e^{i\xi_j(d_j-x)}}{\tilde{S}_{j11} \tilde{S}_{j11} e^{-i\xi_j d_j} + \tilde{S}_{j12} \tilde{S}_{j21} e^{i\xi_j d_j}} \quad (13)$$

که در آن $0 \leq x \leq d_j$ می‌باشد.

تعداد اکسایتون‌های تولید شده در لایه j ام برابر است با:

$$Q_j(x) = \frac{1}{2} \epsilon_0 c \alpha_j \eta_j |E_j(x)|^2 \quad (14)$$

که در آن C سرعت نور و ϵ_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ و α_j ضریب جذب می‌باشد که برابر است با:

$$\alpha_j = \frac{4\pi k_j}{\lambda} \quad (15)$$

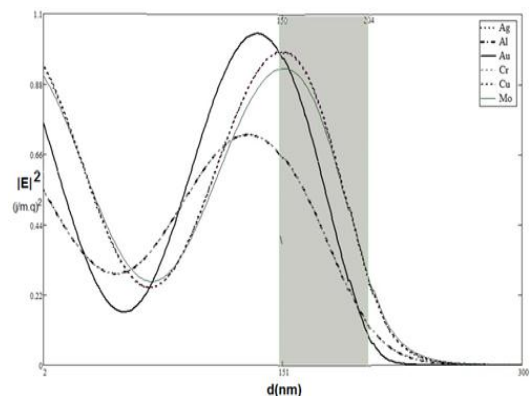
چگالی اکسایتون‌ها در لایه j ام برابر است با:

$$G_j(x) = \int_{350}^{850} \frac{Q_j(x, \lambda)}{h.c} \lambda d\lambda \quad (16)$$

حدود انتگرال طول موج نور مرئی است. جریان اتصال کوتاه در ناحیه فعال برابر است با:

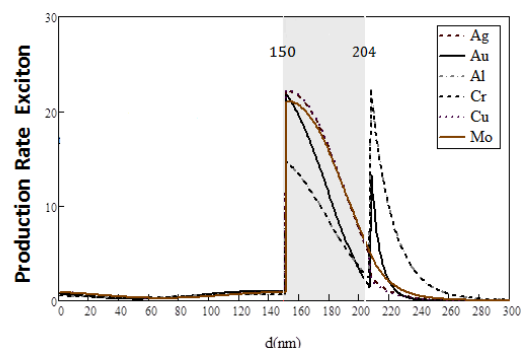
۵- نتیجه گیری

با مقایسه جریان اتصال کوتاه درسلول شکل ۶، مشاهده می شود کاتد Ag نسبت به کاتد Al به اندازه ۱۱٪ و نسبت به کاتد Cu به اندازه ۶٪ و نسبت به کاتد Au به اندازه ۵٪ و نسبت به کاتد Cr به اندازه ۳۹٪ و نسبت به کاتد Mo به اندازه ۴۰٪ افزایش جریان داشته است. لذا کاتد Ag در میان این کاتدها بهترین گزینه می باشد.



شکل ۴: نمودار مجذور E بر حسب ضخامت لایه ها

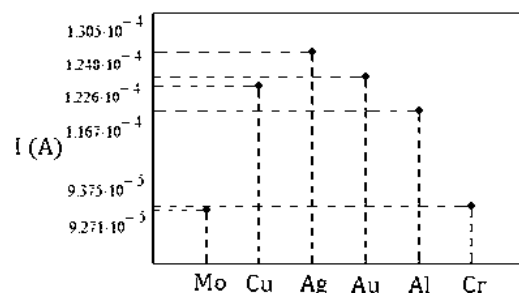
هم چنین نرخ تولید اکسایتون ها بر حسب ضخامت در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است که با توجه به آن دیده می شود که جذب در ناحیه فعال بیشینه است.



شکل ۵: نرخ تولید اکسایتون بر حسب ضخامت لایه ها

در شکل ۵ نمودار Al و Cr روی هم قرار گرفتند و هم چنین $|E|^2$ نمودارهای Ag و Cu روی هم قرار دارند.

در شکل ۶ چگالی جریان برای کاتدهای Ag و Au و Al و Cu و Cr و Mo رسم گردید، که با توجه به نمودار چگالی جریان برای Ag بیشینه و برابر 1.305×10^{-4} می باشد.



شکل ۶: نمودار جریان برای کاتدهای Al و Au و Ag و Cu و Cr و Mo

۶- مراجع

- [1] Travis L. Benanti & D. Venkataraman, *Organic solar cells: An overview focusing on active layer morphology*, **Photosynthesis Research** (2006) 87: 73–81.
- [2] Sam-Shajing Sun, *Organic Photovoltaics Mechanisms, Materials and Devices*, Taylor & Francis Group, (2005).
- [3] Douglas, Sievers; Vishal Shrotriya, *Modeling optical effects and thickness dependent current in polymer blk-heterojunction solar cells*, **Journal of applied physics** 100, (2006).
- [4] Peter peumans, Aharon Yakimov, *Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells*, **Journal of applied physics**, 93, 7, (2003).
- [5] Leif A. A. Pettersson, a) Lucimara S. Roman, and Olle Inganäs, *Modeling photocurrent action spectra of photovoltaic devices based on organic thin films*, **Journal of applied physics**, Vol 86, Nu1, (1999), 487.