بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی اثر کاتد بر عملکرد سلول های خورشیدی نانو ساختارآلی

زهرا جعفرزاده دیزآبادی و سید محمد باقر قرشی

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

چکیده- در سلول‌های خورشیدی آلی جریان در ناحیه فعال با جذب فوتون و تولید اکسایتون تأمین می گردد. لذا عملکرد این سلول‌ها با افزایش اکسایتون، بهینه می‌شود. ابتدا ضخامت ناحیه فعال با ثابت نگه داشتن ضخامت *CUPC* درطول موج ۶۲۰*nm* و تغییر ضخامت *C60* مورد بررسی قرارگرفت . سپس اثر کاتد برعملکرد سلول های خورشیدی آلی با ساختار*ITO/CUPC/C60/Chatode* بررسی شد و ازکاتدهای*Al,Au,Ag,Cu ,Cr,Mo* استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از شبیه سازی اپتیکی ونتایج حاصل ازآن میدان الکتریکی و تعداد اکسایتون ها در هرناحیه بر حسب ضخامت رسم گردید. در نهایت جریان اتصال کوتاه در این ساختار رسم گردید.

کلید واژه- بازدهی، سلول‌های 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. Finaly short-circuit current of these structures were compared.

Keywords: Efficiency, Organic solar cells, Cathode

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

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

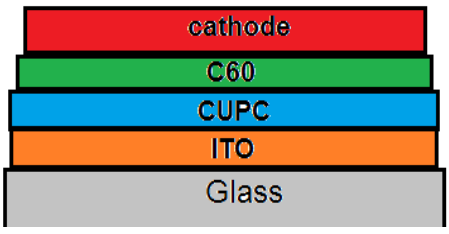
این سلول‌ها به عنوان یک قطعه الکترونیکی که با جذب انرژی خورشید انرژی الکتریکی تولید می کنند، پتانسیل خوبی برای منبع تأمین کننده انرژی در آینده از خود نشان داده است.

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 وانرژی اندرکنش پایین، به وجود می آید.

مکانیزم تولیدجریان درسلول‌های 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 درناحیه فعال را مورد بررسی قرار می‌دهد، تا بتوان بازدهی سلول‌های خورشیدی آلی را بهینه کرد[۲].

۲- ملاحظات نظری

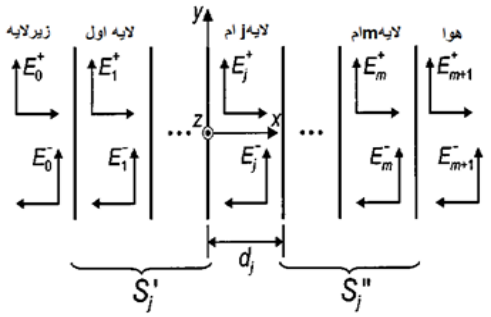
عملکرد سلول‌های خورشیدی آلی به این صورت است که پس ازجذب نور (فوتون) توسط سلول، اکسایتون تولید می‌شود که این اکسایتون‌های تولید شده به سمت پیوندگاه (p-n) انتشار می یابد (فرایند پخش) و درآنجا اکسایتون‌ها به حامل‌های بارآزاد تفکیک می‌شوند این حامل‌ها به طرف الکترودهای مربوطه (الکترون به سمت کاتد و حفره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



شکل۱: ساختار سلول های خورشیدی دو لایه ای آلی

۳- نظریه ماتریسی

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



شکل۲: طرح شماتیکی از سلول چند لایه ای

دراین مدل لایه های سلول ($j=1,2...,m$) بین دولایه غیر متناهی ($j=m+1,j=0$) درنظر گرفته می شود که هر لایه با ضخامت d و ضریب شکست مختلط ($\tilde{n}=n+i.k$) که تابعی از طول موج است مشخص می شود. لایه $j=0$ زیر لایه و$j=m+1$ 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[۴و۵]:

$$I_{j,k}=\frac{1}{t_{j,k}}\begin{pmatrix}1 & r_{j,k}\\ r_{j,k} & 1\end{pmatrix} \quad (۱)$$

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

$$r_{j,k}=\frac{q_j-q_k}{q_j+q_k} \quad (۲)$$

$$t_{j,k}=\frac{2q_j}{q_j+q_k} \quad (۳)$$

و $\tilde{n}_j = q_j$ ماتریس فاز لایه jام برابراست با:

$$L_j=\begin{pmatrix}e^{-i\xi_j d_j} & 0\\ 0 & e^{i\xi_j d_j}\end{pmatrix} \quad (۴)$$

که

$$\xi_j=\frac{2\pi}{\lambda}\ q_j \quad (۵)$$

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

$$\begin{pmatrix}E_0^+\\ E_0^-\end{pmatrix}=S\begin{pmatrix}E_{m+1}^+\\ E_{m+1}^-\end{pmatrix} \quad (۶)$$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

$$S=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \left(\prod_{v=1}^{m} I_{v(v-1)} L_v\right). I_{m(m+1)} \qquad (۷)$$

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

$$S=\acute{S_j}\, L_j\, \acute{\acute{S_j}} \qquad (۸)$$

که با توجه به شکل ۲ ماتریس انتقال لایه jام برابراست با:

$$\begin{pmatrix} E_0^+ \\ E_0^- \end{pmatrix} = \acute{S_j} \begin{pmatrix} \acute{E_j^+} \\ \acute{E_j^-} \end{pmatrix} \qquad (۹)$$

$$\begin{pmatrix} \acute{S}_{j11} & \acute{S}_{j12} \\ \acute{S}_{j21} & \acute{S}_{j22} \end{pmatrix} = \left(\prod_{v=1}^{j-1} I_{(v-1)v} L_v\right). I_{(j-1)j} \qquad (۱۰)$$

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

$$\begin{pmatrix} \acute{\acute{E}}_j^+ \\ E_j^{\acute{\acute{-}}} \end{pmatrix} = \acute{\acute{S}}_j \begin{pmatrix} E_{m+1}^+ \\ E_{m+1}^- \end{pmatrix} \qquad (۱۱)$$

$$\acute{\acute{S}}_j = \begin{pmatrix} \acute{\acute{S}}_{j11} & \acute{\acute{S}}_{j12} \\ \acute{\acute{S}}_{j21} & \acute{\acute{S}}_{j22} \end{pmatrix} = \left(\prod_{v=j+1}^{m} I_{(v-1)v} L_v\right). I_{(m+1)m}$$

(۱۲)

میدان الکتریکی لایه jام برابراست با:

$$E_j(x) = E_0 \frac{\acute{\acute{S}}_{j11} e^{-i\xi_j(d_j-x)} + \acute{\acute{S}}_{j21} e^{i\xi_j(d_j-x)}}{\acute{S}_{j11}\acute{S}_{j11}.e^{-i\xi_j d_j} + \acute{S}_{j12}\acute{\acute{S}}_{j21}.e^{i\xi_j d_j}} \qquad (۱۳)$$

که در آن $0 \leq x \leq d_j$ می باشد.

تعداد اکسایتون‌های تولید شده درلایه jام برابراست با:

$$Q_j\ (x) = \frac{1}{2}\, \epsilon_0 c\, \alpha_j \eta_j |E_j(x)|^2 \qquad (۱۴)$$

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

$$\alpha_j = \frac{4\pi k_j}{\lambda} \qquad (۱۵)$$

چگالی اکسایتون ها در لایه jام برابر است با:

$$G_j(x) = \int_{350}^{850} \frac{Q_j(x,\lambda)}{h.c}\, \lambda d\lambda \qquad (۱۶)$$

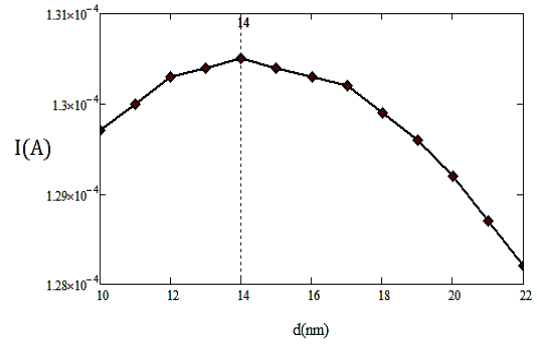
حدود انتگرال طول موج نور مرئی است. جریان اتصال کوتاه در ناحیه فعال برابراست با:

$$I = e. \int G_j(x) dx \qquad (۱۷)$$

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 نظرگرفتن 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.



شکل۳: نمودار جریان برحسب تغییرضخامتC_{60}

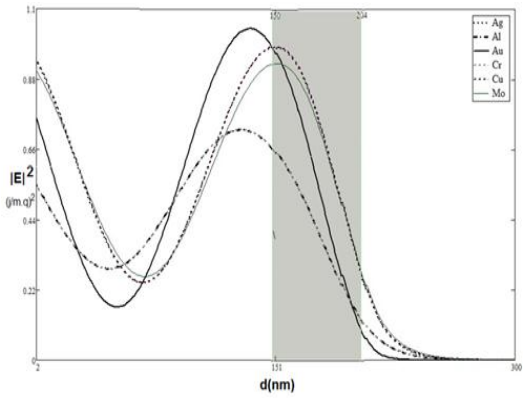
باتوجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که در حالت $d_{C60} = 14nm$ و $d_{CuPc} = 40nm$ بیشترین چگالی جریان را در ناحیه فعال داریم. لذا ضخامت لایه‌ها به صورت زیر انتخاب گردیدند:

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

dcathode=100nm

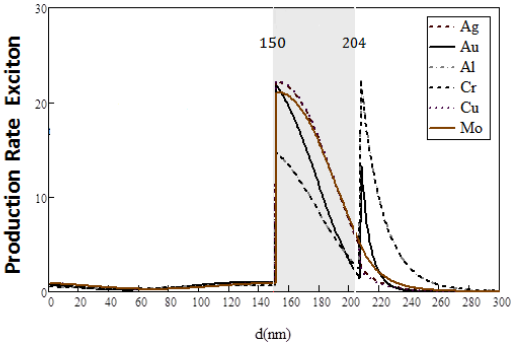
در شکل ۴ تغییرات $|E|^2$ بر حسب ضخامت لایه‌ها برای کاتدهای *Ag* و *Au* و*Al* و*Cu* و*Cr* و*Mo* محاسبه و رسم شده است، که مشاهده می‌شود در طول موج ۶۲۰ *nm* در ناحیه فعال (*150nm* تا *204nm*) این مقدار روندی نزولی دارد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]



شکل ۴ : نمودار مجذور E برحسب ضخامت لایه‌ها

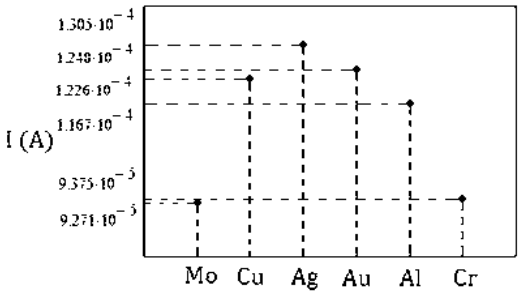
هم‌چنین نرخ تولید اکسایتون‌ها بر حسب ضخامت در نمودار شکل۵ نشان داده شده است که با توجه به آن دیده می‌شود که جذب در ناحیه فعال بیشینه است.



شکل ۵: نرخ تولید اکسایتون برحسب ضخامت لایه‌ها

در شکل۵ نمودارAlو Crروی هم قرار گرفتند و هم چنین $|E|^2$نمودارهای AgوCuروی هم قرار دارند.

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



شکل ۶: نمودار جریان برای کاتدهایAl وAu وAg وCr وCu وMo

۵- نتیجه‌گیری

با مقایسه جریان اتصال کوتاه درسلول شکل۶، مشاهده می‌شود 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٪ ونسبت به کاتد Crبه اندازه ۳۹٪ و نسبت به کاتد Mo به اندازه ۴۰٪ افزایش جریان داشته است. لذا کاتد Ag در میان این کاتدها بهترین گزینه می‌باشد.

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 effecs 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**,V93, 7,(2003).

[5] Leif A. A. Pettersson,a) Lucimara S. Roman, and Olle Inganas, *Modeling photocurrent action spectra of photovoltaic devices based on organic thin films*, **Journal of applied physics**,Vol 86, Nu1,(1999), 487.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]