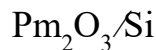




تأثیر خودجذبی چشمه و پس‌پراکنی از نگهدارنده چشمه بر پارامترهای کلیدی باتری بتاولتائیک



موسوی خوانساری، سیدمحسن^(۱) - فتحی، حسن^{(۲)*} - بختیاری، الهام^(۳)

دانشگاه آیت ا...بروجردی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده:

برای یک نمونه از باتری‌های بتاولتائیک $\text{Pm}_2\text{O}_3/\text{Si}$ صفحه‌ای، اثر خودجذبی چشمه بر جریان خروجی از سطوح چشمه، جریان داخل مبدل و نرخ تولید جفت الکترون-حفره درون آن، جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدارباز، ضریب پرکنندگی و در نهایت بازدهی آن بررسی شده است. در مقابل این نقش تضعیفی، زیرلایه‌ی نگهدارنده چشمه تا حدی توانایی بازگرداندن برخی ذرات بتای خروجی از چشمه به داخل چشمه و مبدل را دارد. نتایج نشان‌دهنده کاهش % 31.579 اکتیویته چشمه، کاهش $6 \mu\text{A}$ تا 5 نرخ گسیل ذرات بتا از سطح چشمه و کاهش بازده از % 4.361 به % 4.274 در اثر پدیده خودجذبی و جبران مقداری از این هدررفت در اثر وجود پس‌پراکنی می باشد.

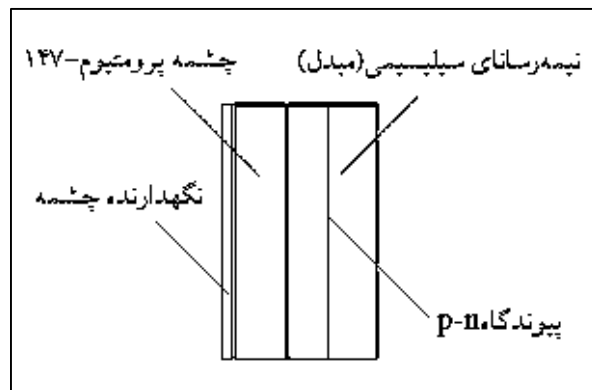
کلمات کلیدی: سلول بتاولتائیک Pm-147 - خودجذبی - پس‌پراکنندگی چشمه - بازدهی

مقدمه:

تلاش‌های اولیه بر روی چشمه‌های قدرت با توان پایین رادیوایزوتوپی به سال ۱۹۵۳ برمی‌گردد [1]. بعدها از اواسط دهه‌ی ۶۰ تاکنون، پژوهشگران گونه‌های متنوعی از این وسایل با کاربردهای مختلف را آزمایش کردند و موفق شدند عمر مفید، ایمنی و بازدهی این دستگاهها را افزایش دهند [2-3]. در باتریهای بتاولتائیک، ذرات بتای حاصل از واپاشی یک منبع بتا در حین حرکت درون ماده چشمه مقداری از انرژی خود را به علت اثر خودجذبی از دست می‌دهند، بنابراین کارایی دستگاه تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در حالت ایده‌آل بایستی ذره یونیزان چشمه را با کمترین خودجذبی ترک کند تا توانایی تخلیه‌ی بیشترین توان ممکن در مبدل را داشته باشد. علاوه بر اثر خودجذبی، ماده پستی نگهدارنده چشمه نیز نقش مهمی در تعیین کارایی سوخت دارد. هدف این مقاله بررسی اثر این دو پدیده بر پارامترهای کلیدی یک نمونه باتری بتاولتائیک است.

روش کار :

بر اساس یک مدل تایید شده آزمایشگاهی، سلول صفحه‌ای بتا و لثائیکی را بررسی می‌کنیم که از یک چشمه صفحه‌ای Pm_2O_3 رادیواکتیو و یک دیود سیلیسیومی بهره می‌برد (شکل شماره ۱). مقادیر پارامترهای این چشمه و نیمه‌رسانای سیلیسیومی در جدول ۱ آورده شده است [4-6]. سایر پارامترهای باتری عبارتند از چشمه با اکتیویته ویژه $2.8 Ci/cm^2$ ، مساحت سطح $2.85 cm^2$ ، ضخامت $6.26 \times 10^{-4} cm$ و حجم $1.78 \times 10^{-3} cm^3$ و حجم کلی سلول نیز $6.38 \times 10^{-2} cm^3$ می‌باشد [4].



شکل شماره (۱) نمای شماتیک سلول صفحه‌ای مورد بررسی که شامل یک چشمه صفحه‌ای اکسید پرومتیوم رادیواکتیو و یک دیود سیلیسیومی پیوندگاهی p-n است.

جریان بتای گسیلی در هر طرف یک چشمه‌ی صفحه‌ای را می‌توان بصورت :

$$I_{\beta}^s = \frac{3.7 \times 10^{10} q H \rho A}{2\alpha_0} (1 - e^{-\alpha_0 t}) \quad (1)$$

نوشت که در آن q بار الکترون (C) و t ضخامت ورقه (cm) است.

جدول شماره (۱) پارامترهای اصلی چشمه و مبدل. مقادیر پارامترهای چشمه از برگه داده‌های پرومتیوم رادیوایزوتوپ استخراج شده است [4-6].

ρ_{Si}	E_g	H_0	w	$\frac{t_1}{2}$	ρ_{PM}	α_0	α	E_{max}	E_{av}
$2.33 (g/cm^3)$	1.2eV	$678 \frac{Ci}{g}$	3.67eV	2.6yr	$6.6 \frac{g}{cm^3}$	$1300 nm^{-1}$	$380 cm^{-1}$	230keV	73keV

بدون احتساب اثر خودجذبی، I_{β} را می‌توان بصورت:



$$I_{\beta} = \frac{3.7 \times 10^{10} qH\rho V}{2} \quad (2)$$

نوشت که در آن $V(\text{cm}^3)$ حجم چشمه است. نرخ گسیل ذرات بتا با در نظر گرفتن هر دو عامل خودجذبی و پس پراکندگی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$I_{\beta}^{s-b} = \frac{3.7 \times 10^{10} qH\rho A}{2\alpha_0} f_b (1 - e^{-\alpha_0 t}) \quad (3)$$

f_b ضریب پس پراکنی از نگهدارنده است و با رابطه‌ی زیر داده می‌شود:

$$f_b(\text{sat}) = 1 + \frac{b_1 \exp(-b_2 Z^{-b_3})}{1 + (b_4 + b_5 Z^{-b_6}) \alpha^{(b_7 - \frac{b_8}{Z})}} \quad (4)$$

$$b_1 = 1.15 \pm 0.06; b_2 = 8.35 \pm 0.25; b_3 = 0.525 \pm 0.02;$$

$$b_4 = 0.0185 \pm 0.0019; b_5 = 15.7 \pm 3.1; b_6 = 1.59 \pm 0.07; b_7 = 1.56 \pm 0.02$$

$$b_8 = 4.42 \pm 0.18; \alpha = E_{\beta, \text{max}}/mc^2$$

ذرات بتای وارد شده به نیمه‌رسانا تضعیف شده و می‌توان جریان بتا در پیوندگاه p-n را به صورت:

$$i_{\beta}^s (i_{\beta} \text{ or } i_{\beta}^{s-b}) = I_{\beta}^s (I_{\beta} \text{ or } I_{\beta}^{s-b}) e^{-\alpha x} (1 - \gamma) \quad (5)$$

نوشت که در آن γ ضریب بازتاب است که با رابطه‌ی $\gamma = \frac{\ln(Z_{\text{eff}})}{6} - 0.25$ بیان می‌شود. Z_{eff} عدداتی موثر صفحه بازتاب دهنده است. نرخ تولید زوج الکترون-حفره در نیمه‌رسانا با رابطه‌ی

$$G^s(x) \left(G(x) \text{ or } G^{s-b}(x) \right) = \frac{m}{q} \left| \frac{di_{\beta}^s (di_{\beta} \text{ or } di_{\beta}^{s-b})}{dx} \right| \quad (6)$$

داده می‌شود که در آن m ضریب تکثیر است $(m = \frac{E_{\text{av}}}{w})$. چگالی جریان اتصال کوتاه برای سه حالت بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$J_{SC}^s = \int_0^L C_{\text{eff}} (1 - \gamma) \frac{[3.7 \times 10^{10} H\rho (1 - e^{-\alpha_0 t}) m \alpha]}{2\alpha_0} e^{-\alpha x} dx \quad (7)$$

$$J_{SC} = \int_0^L C_{\text{eff}} (1 - \gamma) \frac{[3.7 \times 10^{10} H\rho m \alpha]}{2} e^{-\alpha x} dx \quad (8)$$

$$J_{SC}^{s-b} = \int_0^L C_{\text{eff}} f_b (1 - \gamma) \frac{[3.7 \times 10^{10} H\rho (1 - e^{-\alpha_0 t}) m \alpha]}{2\alpha_0} e^{-\alpha x} dx \quad (9)$$

در این روابط C_{eff} بازده جمع‌آوری بار است. طبق معادله شاتکی، ولتاژ مدار باز را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$V_{OC}^s (V_{OC} \text{ or } V_{OC}^{s-b}) = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{J_{SC}^s (J_{SC} \text{ or } J_{SC}^{s-b})}{1.5 \times 10^5 \exp(-E_g/kT)} \right) \quad (10)$$

k ثابت بولتزمن و T دما بر حسب کلوین است. ضریب پراکندگی، اکتیویته و چگالی توانی چشمه برای هر سه حالت به کمک روابط زیر نوشته می‌شود:



$$FF^s (FF \text{ or } FF^{s-b}) = \frac{\left[\left(\frac{V_{OC}^s (V_{OC} \text{ or } V_{OC}^{s-b})}{kT} \right) - \ln \left(\frac{V_{OC}^s (V_{OC} \text{ or } V_{OC}^{s-b})}{kT} + 0.72 \right) \right]}{\left[\left(\frac{V_{OC}^s (V_{OC} \text{ or } V_{OC}^{s-b})}{kT} \right) + 1 \right]} \quad (11)$$

$$Ci^s = \frac{Ci}{\alpha_0 t} (1 - e^{-\alpha_0 t}) \quad (12)$$

$$Ci^{s-b} = \frac{Ci^s}{\alpha_0 t} f_b (1 - e^{-\alpha_0 t}) \quad (13)$$

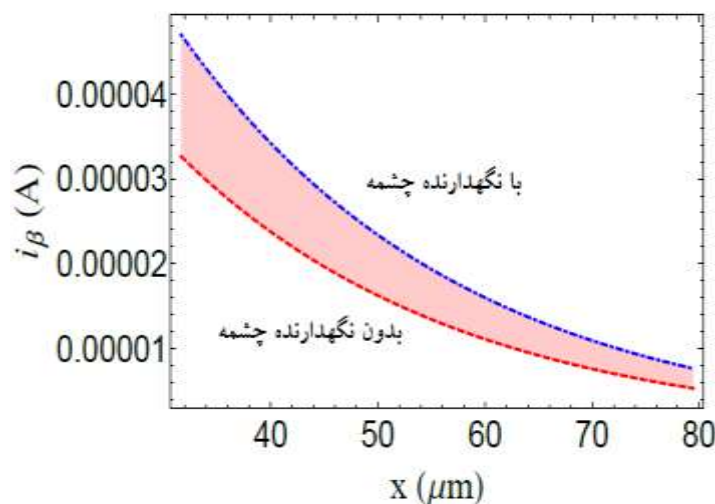
$$P_s^s (P_s \text{ or } P_s^{s-b}) = 3.7 \times 10^{10} q Ci^s (Ci \text{ or } Ci^{s-b}) E_{av} \quad (14)$$

بازدهی باتری که همه کمیت‌های دستگاه را در برمیگیرد می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

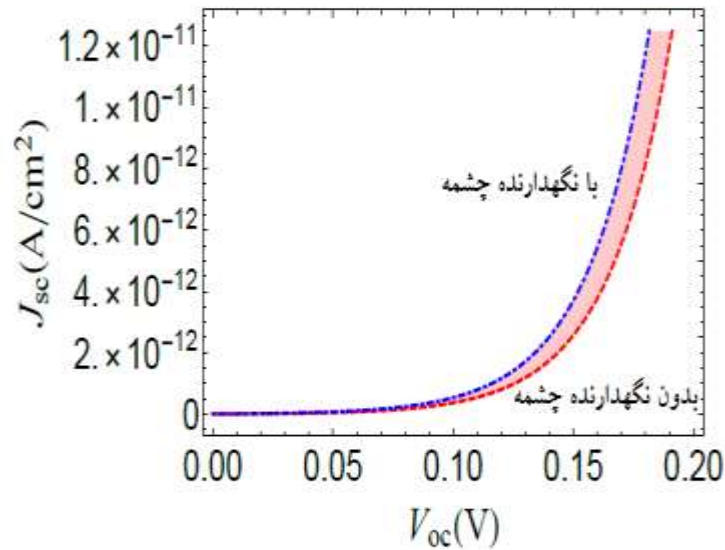
$$\eta^s (\eta \text{ or } \eta^{s-b}) = \frac{FF^s \times J_{SC}^s \times V_{OC}^s}{P_s^s} \left(\frac{FF \times J_{SC} \times V_{OC}}{P_s} \text{ or } \frac{FF^{s-b} \times J_{SC}^{s-b} \times V_{OC}^{s-b}}{P_s^{s-b}} \right) \quad (15)$$

نتایج :

در شکل‌های شماره (۲) تا (۴) جریان اتصال کوتاه برحسب عمق نیمه‌رسانا ، چگالی جریان اتصال کوتاه برحسب ولتاژ مدارباز و نیز نرخ تولید جفت الکترون-حفره برحسب عمق نیمه‌رسانا برای حالت‌های با پس‌پراکندگی و بدون پس‌پراکندگی رسم شده است. نتایج حاصل از محاسبات نیز در جدول (۲) آورده شده است.



شکل شماره (۲) جریان خروجی از سطوح چشمه برحسب عمق نیمه‌رسانا برای حالت‌های با پس‌پراکندگی و بدون پس-پراکندگی.



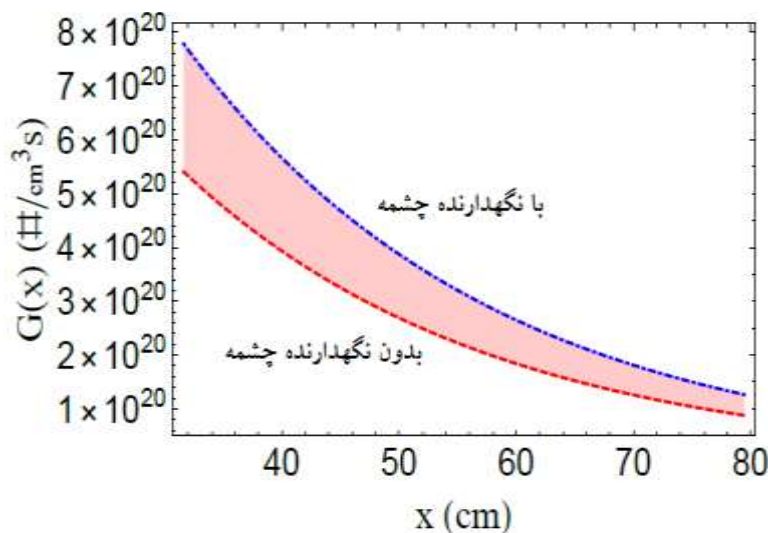
شکل شماره (3) چگالی جریان اتصال کوتاه بر حسب ولتاژ مدارباز برای حالت‌های با پس‌پراکندگی و بدون پس‌پراکندگی.

جدول شماره (۲) پارامترهای اصلی دستگاه در سه حالت برای بتاولتائیک اکسیدپرومتیوم-سیلیسیوم.

کمیت	با خودجذبی	بدون خودجذبی و پس-پراکندگی	با خودجذبی و پس-پراکندگی
$(\mu A)I_{\beta}$	۱۳,۰۶۴	۱۹,۰۹۳	۱۸,۷۲۱
$i_{\beta} \times e^{-\alpha x} (\mu A)$	۱۰.۸۴۳	۱۵.۸۴۶	۱۵.۵۳۸
$G(x) e^{-\alpha x} \times 10^{17} (\#/cm^3.s)$	۱,۷۹۷	۲,۶۲۷	۲,۵۷۶
$J_{SC} \times 10^{-4} (A/cm^2)$	۰,۷۵۶۵	۱,۱۰۶	۱,۰۸۴
$V_{OC} (V)$	۰,۵۶۹۹	۰,۵۷۹۷	۰,۵۷۹۲
FF	۰,۸۲۰۸	۰,۸۲۳۰	۰,۸۲۲۳
Ci(Ci)	۵,۴۶۰	۷,۹۸۰	۷,۸۲۴
$P \times 10^{-3} (W)$	۲,۳۶۰	۳,۴۴۹	۳,۳۸۱
$(\%) \eta$	۴,۲۷۴	۴,۳۶۱	۴,۳۵۲

بحث و نتیجه گیری :

از جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد که خودجذبی نرخ گسیل ذرات بتا از سطح چشمه را تا اندازه $6\mu\text{A}$ کاهش می‌دهد و با در نظر گرفتن هردو عامل، مقدار این کاهش حدود $5\mu\text{A}$ است. (از اثر خودجذبی ماده نگهدارنده چشمه صرف نظر شده است). نتایج این جدول نشان‌دهنده کاهش 31.579% اکتیویته چشمه و کاهش بازده از 4.361% به 4.274% در اثر پدیده خودجذبی و جبران مقداری از این هدررفت در اثر وجود زیرلایه چشمه می‌باشد. چون در اینگونه وسایل هردو عامل موثرند، انتظار داریم داده‌های ستون سوم جدول ۲ مقادیر نزدیک‌تر به واقعیت را نشان دهند. با توجه به شیفت نمودار شکل‌های ۲ تا ۴ می‌توان تاثیر ماده نگهدارنده چشمه در جریان و چگالی جریان اتصال کوتاه و بر نرخ تولید جفت الکترون-حفره داخل نیمه‌رسانا را بصورت کیفی و کمی مشاهده نمود. بازدهی باتری وقتی تنها اثر خودجذبی در نظر گرفته می‌شود، 1.99% کمتر از وقتی است که هردو عامل خودجذبی و پس‌پراکندگی نادیده گرفته می‌شوند. با در نظر گرفتن هردو عامل، بازدهی باتری 0.21% کمتر از وقتی است که از هردو عامل چشم‌پوشی می‌شود.



شکل شماره (۴) نرخ تولید جفت الکترون-حفره بر حسب عمق نیمه رسانا برای حالت‌های با پس‌پراکندگی و بدون پس-پراکندگی.

سپاسگزاری:

این مقاله در قالب طرح پژوهشی مصوب در دانشگاه آیت ... بروجردی با کد رهگیری ۱۶۸۱۴۶-۱۵۶۶۴ نوشته شده است لذا نویسندگان مراتب امتنان خود را از کادر دانشگاه اعلام می‌دارند.



مراجع :

- [1] P. Rappaport, "The electron-voltaic effect in p-n junctions induced by beta-particle bombardment," *Phys. Rev.*, vol. 93, no. 1, pp. 246–247, Jan. 1954.
- [2] H. Guo and A. Lal, "Nanopower betavoltaic micro batteries," in *Proc. Solid-State Sensors, Actuat. Microsyst.*, vol. 1. Jun. 2003, pp. 36–39.
- [3] W. Sun, N. P. Kherani, K. D. Hirschman, L. L. Gadeken, and P. M. Fauchet, "A three-dimensional porous silicon p-n diode for betavoltaics and photovoltaics," *Adv. Mater.*, vol. 17, no. 10, pp. 1230–1233, May 2005.
- [4] L. Wei, "Parametric studies and optimization of the beta-voltaic cell—I. Short-circuit current," *Solid-State Electron.*, vol. 17, no. 10, pp. 1091–1098, Oct. 1974.
- [5] H. Flicker, J. J. Loferski and T. S. Elleman, *IEEE Trans.* ED-11, 2 (1964).
- [6] J. H. Jarrett and H. H. Van Tuyl, "Promethium Isotopic Power Data Sheets", *Battelle Memorial Institute*, (May 1970).