

مروری بر آخرین پیشرفت‌های سلول‌های خورشیدی پلیمری

نویسندگان: محمد جوان الماسی^۱، طاهره فنایی شیخ‌الاسلامی^۲،
امیر راستی قهفرخی^۱

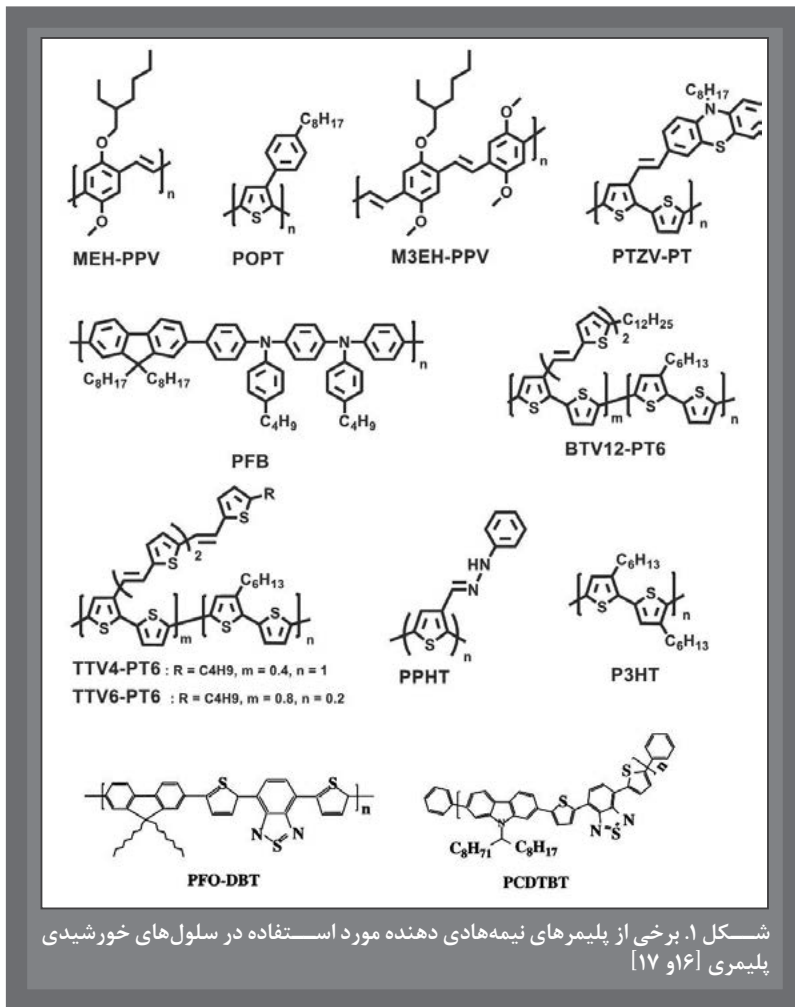
۱. کارشناسی ارشد مهندسی نانومواد و فناوری نانو دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲. استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده برق و رایانه دانشگاه سیستان و بلوچستان
rasty_gh@yahoo.com

۱ مقدمه

امروزه به دلیل اهمیت انرژی‌های نو، ساخت موادی که توانایی تولید انرژی الکتریکی از منابع طبیعی را داشته باشد از اهمیت بسزایی برخوردار است. یکی از این منابع طبیعی نور خورشید است که با استفاده از سلول‌های فتوولتائیک به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. لذا در سال‌های اخیر، مواد حساس به نور که در این سلول‌ها به کار می‌روند، موضوع تحقیقات بسیاری را به خود اختصاص داده‌اند. سلول‌های خورشیدی اولیه بر پایه مواد نیمه‌رسانا شکل گرفتند، اما با گذشت زمان و به‌وجود آمدن نیازهای جدید، محققان به سمت طراحی سلول‌های خورشیدی نوین متمایل شده‌اند. یافته‌ها نشان داد که مواد پلیمری نیمه‌هادی توانایی جذب انرژی نورانی خورشید و تبدیل آن به الکتریسیته را دارا هستند و از طرف دیگر مزایایی چون انعطاف‌پذیری و قابلیت ساخت در ابعاد بزرگ را دارند، هم‌چنین نسبت به سلول‌های خورشیدی سیلیکونی ارزان‌تر هستند که این امر سبب می‌شود بازدهی کم‌تر این سلول‌ها قابل اغماض باشد [۱]. مسئله اصلی در انواع مختلف سلول‌های خورشیدی، مسئله بازدهی است. بیش از یک دهه است که محققان در حال تحقیق روی افزایش بازده سلول‌های خورشیدی پلیمری هستند [۲-۴]. دانشمندان هم‌زمان با بهبود بازدهی، سعی در افزایش طول عمر و انعطاف‌پذیری این سلول‌های خورشیدی دارند [۵].

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در سال‌های اخیر، تأمین انرژی و یافتن منابع جدید انرژی است. سلول‌های خورشیدی یکی از این منابع انرژی است که به روش فتوولتائیک نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سلول‌های خورشیدی پلیمری به دلیل سادگی ساخت، انعطاف‌پذیر بودن و قابلیت ساخت در ابعاد بزرگ، از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی در فناوری‌های نوین سلول‌های خورشیدی است که توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. در این پژوهش به بررسی سیر پیشرفت‌های انجام شده در جهت کاهش محدودیت‌های کاربردی و هم‌چنین چالش‌های پیش‌رو در ساخت سلول‌های خورشیدی پلیمری پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی، پلیمر، گاف انرژی، اتصال ناهمگون توده‌ای



نانومتری، تنها می‌تواند ۱۶ درصد از فوتون‌های نور خورشید را جذب نماید، در حالی که گاف انرژی ۱/۱ الکترون ولت سیلیکون توانایی جذب ۹۰ درصد از نور خورشید را دارد. شکل ۳ میزان جذب طیف نور خورشید در گاف انرژی‌های مختلف Si و P3HT را نشان می‌دهد.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته می‌توان گفت؛ برای دستیابی به بازدهی حدود ۱۰ درصد، در صورتی که پلیمر گیرنده PCBM باشد، می‌بایست میزان گاف انرژی پلیمر دهنده ۱/۷ الکترون ولت باشد. از طرف دیگر میزان گاف انرژی کم‌تر علاوه بر افزایش میزان جذب نور خورشید، میزان بیشینه‌ی چگالی جریان را افزایش خواهد داد. شکل ۴ انواع مختلفی از پلیمرهای دهنده و سیلیکون را نشان می‌دهد که با کاهش هر چه بیشتر گاف انرژی میزان بیشینه چگالی جریان نیز افزایش می‌یابد. لذا، همواره یکی از موضوعاتی که پژوهشگران روی آن متمرکز شده‌اند، دستیابی به پلیمرها و کوپولیم‌های جدید با گاف انرژی‌های کوچک است. جزئیات مربوط به اثر گاف انرژی به طور گسترده در منابع [۲۳ - ۲۶] مورد بررسی قرار

و همکاری‌اش توانستند بر مبنای پلی آنیلین نوع جدیدی از سلول‌های خورشیدی را معرفی کنند [۱۵].

پلیمرهایی نظیر ^۵CN-MEH-PPV و ^۶PF8TB و برخی مولکول‌های کوچک، C₁₉ (فولرین) و محلولی از مشتقات C₇₀ و C₁₉ به نام‌های ^۷PC₁₉BM و ^۸PC₇₀BM به عنوان گیرنده‌های الکترون مورد استفاده قرار می‌گیرند. اخیراً کامپوزیت‌های پلیمر- فولرین، به دلیل هزینه نسبتاً کم در فناوری فوتوولتاییک توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند و تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است [۱۸-۱۹].

۲.۲ بهبود میزان جذب نور خورشید

یکی از پارامترهای محدودیت در سلول‌های خورشیدی پلیمری، میزان جذب کم و گاف انرژی زیاد مواد و ناهم‌آهنگ بودن آن‌ها با تابش خورشید است. به عنوان مثال، poly (p-phenylenevinylenes) (PPVs) و پلی تیوفن‌ها به ترتیب دارای گاف انرژی ۲/۲ و ۱/۸۵ الکترون ولت هستند. گاف انرژی ۱/۸۵ الکترون ولت دارای لبه‌ی جذب ۶۷۰

در این سلول‌ها به منظور افزایش شفافیت از شیشه‌های (ionolindium-tin-oxide) ITO استفاده می‌شود. به دلیل هزینه بالای این شیشه‌ها، تلاش‌هایی برای جایگزین کردن آن‌ها با مواد ارزان‌تر و انعطاف‌پذیرتر در جریان است. به عنوان مثال چانگ لین و همکارانش با جایگزین کردن GZO (gallium-doped ZnO) به جای ITO سلول خورشیدی پلیمری تولید کردند که با وجود شفافیت کم‌تر، دچار افت بازده نشد [۱۶]. در تحقیق دیگری که به وسیله «ی و همکارانش» انجام شد، از یک لایه شفاف متشکل از آلومینیوم آلیبده با اکسید روی و لایه نازک نقره به جای ITO استفاده کردند. در این مورد نیز سلول خورشیدی بازده قابل قبول به همراه انعطاف‌پذیری مناسب از خود نشان داد [۱۷].

تحقیق و مطالعه در مورد این نوع سلول‌های خورشیدی روزبه‌روز در حال گسترش است و اقدامات بسیاری برای بهبود بازدهی این سلول‌های خورشیدی انجام داده‌اند، که در ادامه به برخی از این پیشرفت‌ها اشاره می‌شود.

۲ عوامل موثر در بهبود کارایی سلول خورشیدی پلیمری

آنچه در مورد سلول‌های خورشیدی پلیمری حائز اهمیت است بهبود بازده، میزان جذب نور و نیز تولید ساختارهای جدید با مورفولوژی‌های متنوع، افزایش انعطاف‌پذیری و پایداری محیطی است. امروزه تمرکز دانشمندان روی افزایش بازده سلول‌های خورشیدی پلیمری است. از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این امر می‌توان به نوع پلیمر استفاده شده، بهبود ولتاژ مدار باز، بهبود میزان جذب نور خورشید و تغییر ساختار آن‌ها اشاره کرد که در ادامه مورد بررسی و مطالعه قرار خواهند گرفت.

۱.۲ پلیمرهای مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی پلیمری

به طور کلی، مواد پلیمری دارای الکترون‌های پای (π) بوده که با جذب نور خورشید بار الکتریکی در آن ایجاد می‌شود، لذا این مواد قابلیت استفاده در سلول‌های خورشیدی پلیمری را دارند. این مواد به دو دسته اصلی دهنده و گیرنده تقسیم می‌شوند. شکل ۱ و ۲ نشان‌دهنده برخی از آخرین انواع این پلیمرهای نیمه‌هادی دهنده و گیرنده است. اغلب پلیمرهای نیمه‌هادی، هادی انتقال دهنده‌ی حفره هستند که به این مواد پلیمرهای دهنده گفته می‌شود. چهار نوع از متداول‌ترین و مهم‌ترین این پلیمرها PFO-DBT، P3HT، MEH-PPV و PCDTBT است. امروزه، برخی دیگر از پلیمرها نیز که دارای گاف انرژی کمی هستند، در سلول‌های خورشیدی پلیمری استفاده می‌شوند [۸-۱۴]. در سال ۲۰۱۲ شاکر

گرفته است. در جدول ۱ ارتباط بین گاف انرژی و بازدهی سلول‌های خورشیدی پلیمری که به‌وسیله‌ی تحقیق صورت گرفته است، نشان داده شده است.

۳.۲ بهبود میزان ولتاژ مدار باز

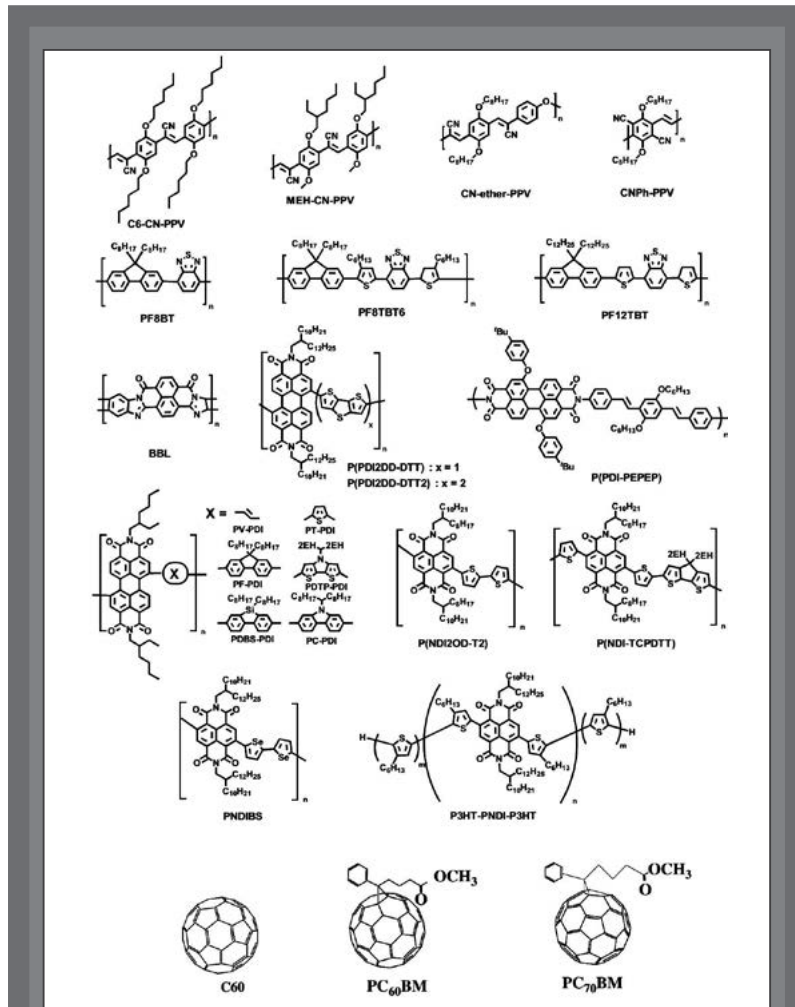
ولتاژ مدار باز Voc در سلول‌های خورشیدی پلیمری، متناسب با میزان اختلاف انرژی بین LUMO گیرنده الکترون و HOMO دهنده الکترون است. از طرف دیگر این متغیر به چگونگی تماس بین لایه فعال و الکتروود هم‌چنین مورفولوژی لایه فعال بستگی دارد. یکی از روش‌های افزایش ولتاژ مدار باز، استفاده از لایه بافر در سلول خورشیدی پلیمری است. با استفاده از لایه بافر با ضخامت‌های نانومتری در این سلول‌ها (تقریباً ۱۰ نانومتر)، نه تنها میزان ولتاژ مدار باز افزایش می‌یابد، بلکه این لایه بافر به عنوان یک لایه واسطه از واکنش میان الکتروود و لایه فعال جلوگیری می‌نماید. البته این نکته قابل توجه است که اثر لایه بافر با تغییر در نوع آن، تغییر خواهد نمود. در جدول ۲ تعدادی از سلول‌های خورشیدی پلیمری که دارای لایه‌های بافر نوع n هستند، نشان داده شده است.

در جدول ۳ تعدادی از سلول‌های خورشیدی پلیمری که دارای لایه‌های بافر نوع p هستند، نشان داده شده است.

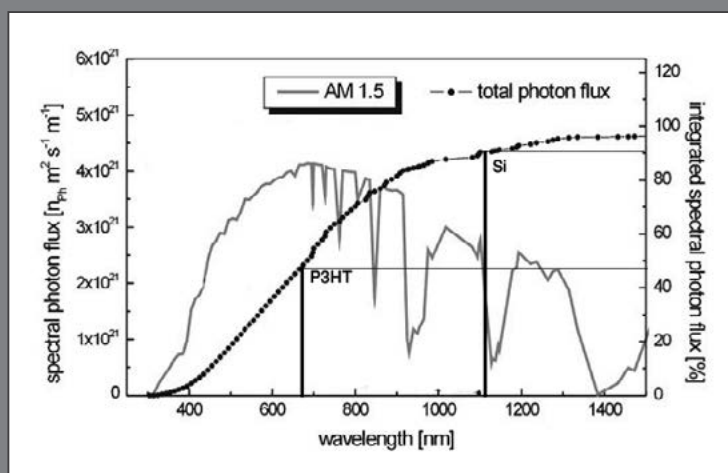
۴.۲ سلول‌های خورشیدی با ساختار اتصال ناهمگون توده‌ای

یکی از روش‌های بهبود بازدهی سلول‌های خورشیدی پلیمری، تغییر ساختار آن‌ها است. یکی از این روش‌ها، تغییر شکل در قرارگیری لایه‌های بافر و فعال است.

در سلول‌های پلیمری معمولی تمامی جفت الکترون حفره‌های تولید شده نمی‌توانند مسیری برای حرکت به سمت الکتروودها پیدا کنند، زیرا بخشی که شامل پذیرنده و گیرنده است از الکتروودها جدا است. برای برطرف کردن این مشکل و افزایش بازده سلول‌های خورشیدی پلیمری، استفاده از ساختارهای ناهمگون توده‌ای پیشنهاد شده است. در شکل ۵ ساختار ایده‌آلی از یک سلول خورشیدی پلیمری با ساختار ناهمگون توده‌ای نشان داده شده است. در این ساختار، نانو ساختارهای نوع n و p با فاصله بسیار کمی با عمق نفوذ ۵ تا ۲۰ نانومتر در کنار هم قرار گرفته‌اند. این نوع قرارگیری به دلیل افزایش فصل مشترک و سطح تماس پذیرنده و گیرنده باعث می‌شود که جدایش و انتقال الکترون راحت‌تر اتفاق افتد [۳۲]. اتصالات ناهمگون توده‌ای انواع مختلفی دارند که از آن‌ها می‌توان به سلول‌های پلیمر-فولرین، سلول‌های پلیمری مزدوج و سلول‌های هیبریدی (متشکل از دو

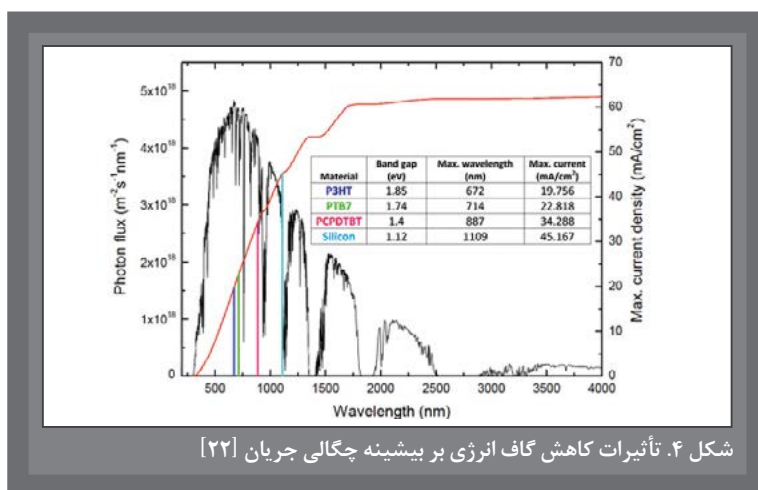


شکل ۲. برخی از پلیمرهای نیمه‌هادی گیرنده مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی پلیمری [۱۶ و ۱۷]



شکل ۳. میزان جذب در گاف انرژی‌های مختلف [۱۶]

نیمه‌رسانای آلی و معدنی) اشاره کرد. یکی دیگر از روش‌های تغییر ساختار، جابه‌جایی لایه‌ها و استفاده کردن از مواد مختلف در لایه بافر سلول‌های خورشیدی پلیمری است. به عنوان مثال، امروزه ثابت شده است که استفاده از لایه‌ی اسیدی PEDOT: PSS باعث اکسید شدن فلز کاتد در معرض هوا می‌شود. لذا، امروزه محققان با تغییر لایه‌های بافر، به دنبال تغییر ساختار و در نهایت افزایش بازدهی هستند. یکی از این ساختارهای جدید در شکل ۶ آمده است که لایه‌های اکسید روی و اکسید وانادیوم در آن به عنوان لایه بافر به کار رفته است. در ادامه ساختارهای جدیدی از سلول‌های خورشیدی پلیمری در جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. تأثیرات کاهش گاف انرژی بر بیشینه چگالی جریان [۲۲]

جدول ۱. ارتباط میان گاف انرژی و بازدهی سلول‌های خورشیدی پلیمری [۲۷]

گاف انرژی (eV)	بازدهی (درصد)	محققان
۱/۷۵	۱۵	کواکلی ^۹ و همکاران (۲۵)
۱/۴۵	۱۱ - ۱۵	چاربر ^{۱۰} و همکاران (۲۶)
۱/۵	۵ - ۱۵	مینایرت ^{۱۱} و همکاران (۱۱)
۱/۹	۱۱	کاستر ^{۱۲} و همکاران (۱)
۱/۶	۱۴	سرواتیس ^{۱۳} و همکاران (۳)

جدول ۲. سلول‌های خورشیدی پلیمری با لایه‌های بافر نوع n [۱۶]

PCE (درصد)	Voc (v)	FF (درصد)	Jsc (mA/cm ²)	لایه بافر		ماده فعال
				ضخامت (nm)	نوع لایه	
۱/۱	۱/۶۹	۴	۰/۰۸۱	۰	LiF	m-MTD ATA /Nd (DBM) 3bath/LiF
۲/۲	۱/۹۶	۵	۰/۱۴۵	۰/۶	LiF	
	۰/۷۱۸	۵۳		۰	LiF	MDMO-PPV/PCBM/LiF
	۰/۸۵	۲۱/۱		۱/۲	LiF	
	۰/۷۱۸	۵۳		۰	SiOx	MDMO-PPV/PCBM/SiOx
	۰/۷۹۶	کم‌تر		۱/۲	SiOx	
	۰/۲۲	۱۰		۰	LiF	MDMO-PPV/PCBM/LiF
	۰/۷۲۳	۵۴		-	LiF	

PCE (درصد)	Voc (v)	FF (درصد)	Jsc (mA/cm ²)	لایه بافر		ماده فعال
				ضخامت (nm)	نوع لایه	
	۰/۸	۱۳	۸/۲۴	۰	LiF	PEDOT: PSS/ P3HT: PCBM/LiF
	۰/۱۷	۲۳	۸/۰۷	-	LiF	
	۰/۸	۱۳	۸/۲۴	۰	CaO	PEDOT: PSS/ P3HT: PCBM/CaO
۲/۸۵	۰/۱۷	۱۸	۸/۵۳	-	CaO	
۴	۰/۳۲	۱۹	۱۰/۷	۰	TiOx	PEDOT: PSS/ P3HT: PCBM/TiOx
۴/۱	۰/۳۲	۲۱	۱۰/۸	۳۵	TiOx	
۲/۳				۰	Cs ₂ CO ₃	PEDOT: PSS/ P3HT: PCBM/Cs ₂ CO ₃
۳/۱				-	Cs ₂ CO ₃	
۲	۰/۲۱	۲۰/۱۹	۷/۲۱	۰	Pentacene	PEDOT: PSS/P3HT: PCBM/Pentacene
۳/۰۹	۰/۲۳	۱۰/۳	۹/۵۶	۱	Pentacene	
۲/۳	۰/۱۰	۵۴	۷/۵	۰	TiOx	PEDOT: PSS/P3HT: PCBM/TiOx
۵	۰/۲۱	۶۶	۱۱/۱	۳	TiOx	
۳/۰۹	۰/۵۵	۶۴	۸/۷۲	۰	F-PCBM	PEDOT: PSS/P3HT: PCBM/F-PCBM
۳/۷۰	۰/۱۷	۷۰	۹/۱۰	۲	F-PCBM	

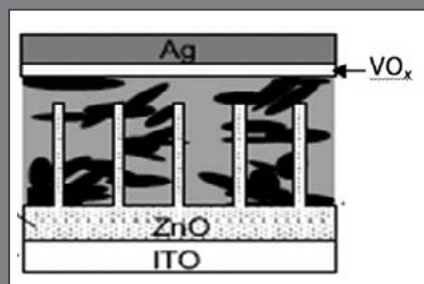
جدول ۳. سلول‌های خورشیدی پلیمری با لایه‌های بافر نوع p [۱۶]

PCE (درصد)	Voc (v)	FF (درصد)	Jsc (mA/cm ²)	لایه بافر		ماده فعال
				ضخامت (nm)	نوع لایه	
۳/۳۹	۰/۶۴	۵۵	۸/۸۳	۰	PANIN	PEDOT: DSS/ a-PANINs/P3HT: PCBM
۴/۲۶	۰/۶۴	۱۹	۱۰/۹۶	-	PANIN	
۱/۱۶	۰/۷۴	۲۰/۴	۴/۵۶	۰	TFB: TPDSi ₂	TFB: TPDSi ₂ /MDMO: PPV: PCBM
۲/۲	۰/۸۹	۵۴/۴	۴/۲۲	۱۰	TFB: TPDSi ₂	
۲/۰۷	۰/۱۴	۵	۵/۲	۰	GNPs	(GNPs) / P3HT: PCBM
۲/۲۱	۰/۵۴	۱۷	۶/۱۵	-	GNPs	
۳/۱۸	۰/۱۸	۱۸/۶	۸/۹۵	۰	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅ /P3HT: PCBM
۳/۱۰	۰/۱۸	۱۸/۱	۸/۸۳	۳	V ₂ O ₅	
۳/۱۸	۰/۱۸	۱۸/۶	۸/۹۵	۰	MoO ₃	MoO ₃ /P3HT: PCBM /Al
۳/۳۳	۰/۱۹	۲۱/۹	۸/۹۴	۵	MoO ₃	
۳/۹۵	۰/۲۶	۱۷/۱	۱۰/۲۱	۰	CuPc	PEDOT: PSS/CuPc/P3HT: PCBM
۴/۱۳	۰/۶۴	۱۰/۱	۱۲/۵۴	۸	CuPc	
۴/۴	۰/۲۱	۶۶	۱۰/۸	۰	AgOx	AgOx/PEDOT: PSS/P3HT: PCBM
۴/۸	۰/۱۹	۲۳	۱۲/۷	-	AgOx	
۴	۰/۱۰	۶	۲۱/۶	۰	SWNT	PEDOT: PSS/SWNT/P3HT: PCBM
۴/۹	۰/۱۸	۱۰	۲۱/۰	-	SWNT	

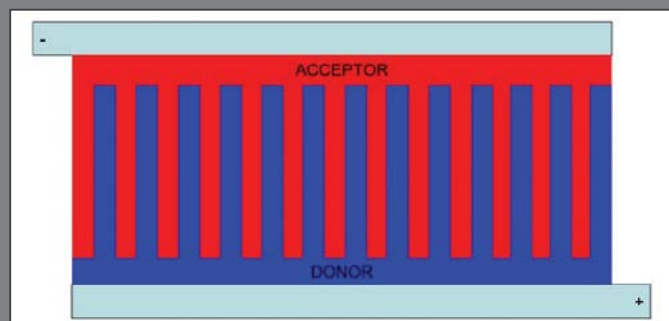
PCE (درصد)	Voc (v)	FF (درصد)	Jsc (mA/cm ²)	لایه بافر		ماده فعال
				ضخامت (nm)	نوع لایه	
۴	۰/۱۰	۶	۲۱/۶	۰	SWNT	SWNT/PEDOT: PSS/P3HT: PCBM
۴/۹	۰/۱۸	۱۵	۲۴/۱	-	SWNT	

جدول ۴. انواعی از سلول‌های خورشیدی پلیمری با ساختار جدید [۱۵ و ۱۶]

PCE (درصد)	Voc (v)	FF (درصد)	Jsc (mA/cm ²)	لایه فعال
۲/۷۱	۱۰/۹۶	۴۲	۰/۱۸	ITO/nano-TiO ₂ /P3HT: PCBM/V2O5/Al
۲/۲۵	۸/۴۲	۲۲/۱	۰/۵۶	ITO/Cs ₂ CO ₃ /P3HT: PCBM/V ₂ O ₅ /A
۳-۳/۵	۸/۶-۱۰	۶/۵	۰/۵۶-۰/۱۷	ITO/TiOx/P3HT: PCBM/PEDOT: PSS/Al
۲/۹۷	۱۱/۲۲	۲۳	۰/۵۵۶	ITO/ZnO/P3HT: PCBM/Ag
۳/۱	۹/۰	۶/۵	۰/۵۶	ITO/TiOx/P3HT: PCBM/PEDOT: PSS/Au
۳/۸	۱۰/۶	۲۲	۰/۲۲	ITO/TiOx/SAM/P3HT: PCBM/PEDOT: PSS/Al
۲/۱۷	۶/۱۷	۱۷/۲	۰/۲۱	ITO/nc-TiO ₂ /P3HT: PCBM/MoO ₃ /Ag
۲/۷	۱۰/۴	۲۲/۳	۰/۱۴	ITO/nano-ZnO/P3HT: PCBM/Ag
۳/۲۱	۹/۶	۲۶	۰/۱۷	ITO/ZnO-NP/P3HT: PCBM/PEDOT: PSS/Ag
۳/۹	۱۰/۶۹	۹	۰/۲۲۳	ITO/nano-ZnO/P3HT: PCBM/VOx/Ag
۰/۰۷۳	۰/۵۵۵	-۵۴/۲	۰/۱۶۴	ITO/EBMWCNT/ZnO/ITO
۰/۱۳۷	۰/۸	-	۰/۱۴	ITO/EBMWCNT/ZnOriboflavin/ITO
۰/۲۲۴	۰/۴	-	۰/۷	ITO/EBMWCNT/ZnOrhodamine B/ITO



شکل ۶. ساختار جدیدی از یک سلول خورشیدی پلیمری [۳۴]



شکل ۵. ساختار ایده‌آلی از یک سلول خورشیدی پلیمری [۳۳]

۳ چالش‌های پیش‌رو

با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه تولید پلیمرهای حساس به نور، برای تبدیل نور به الکتروسیسته، مشخص گردید که در این نوع مواد میزان بازدهی انرژی الکتریکی بسیار مهم است. از این‌رو در سال‌های اخیر، توجه دانشمندان به استفاده از موادی با هدایت الکتریکی بالا در زمینه پلیمر جلب شده است. از طرف دیگر با بررسی‌های انجام شده و با توجه به خواص هدایت الکتریکی بسیار زیاد نانولوله‌های کربنی، با ساخت این نوع کامپوزیت زمینه پلیمری می‌توان بازده تولید انرژی الکتریکی را در سلول‌های خورشیدی پلیمری افزایش داد. بر اساس مطالعات اخیر صورت گرفته، افزودن نانولوله‌های کربنی بازده سلول‌های خورشیدی پلیمری را در حدود ۳ درصد افزایش می‌دهد [۳۵]. اما تلاش‌ها برای بهبود کارایی این سلول‌ها به وسیله‌ی نانولوله‌های کربنی هم‌چنان ادامه دارد.

یکی دیگر از چالش‌های پیش‌رو، کاهش هزینه و استفاده از پلیمرهای ارزان است. هزینه زیاد استفاده از پلیمرهای متداول، نظیر P3HT و PCBM، پلی آنیلین را به عنوان یک پلیمردهنده مناسب در لایه فعال سلول خورشیدی پلیمری معرفی می‌کند. با توجه به تحقیقات اخیر، یکی دیگر از دلایل سنتز این پلیمر، علاوه بر هزینه کم تولید و روش ساخت نسبتاً ساده آن، به دست آوردن پلیمری با باند گپ کم است که عامل موثری در افزایش بازدهی است [۳۶ و ۳۷].

در مطالعات اخیر، با توجه به خواص ویژه پلی آنیلین و نانولوله‌های کربنی، نانوکامپوزیت‌های آن‌ها مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است [۳۶-۳۹]. به نظر می‌رسد یکی از چالش‌های پیش‌روی سلول‌های خورشیدی پلیمری، بهبود خواص این نوع کامپوزیت برای افزایش بازده باشد. توزیع مناسب نانولوله‌های کربنی در زمینه پلی آنیلین در این کامپوزیت‌ها یکی از مشکلاتی است که امروزه مورد توجه بسیاری از دانشمندان و محققان قرار گرفته است. در سال‌های اخیر،



در سلول‌های خورشیدی زمینه پلیمری هستند. امروزه تمایل صنایع مختلف به تولید سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر است، از این رو هرچند شیشه‌های ITO یکی از بهترین مواد مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی پلیمری از نظر شفافیت هستند، اما به دلیل محدودیت‌هایی چون انعطاف‌پذیری پایین و هزینه زیاد این ماده، به نظر می‌رسد ITO آینده روشنی در تولید سلول‌های خورشیدی پلیمری نخواهد داشت. هم‌چنین نوع پلیمر مورد استفاده و ساختار سلول خورشیدی پلیمری، نقش بسزایی در بهبود خواص این نوع سلول‌ها ایفا می‌کند. از طرف دیگر با کنترل و بهبود خواصی نظیر میزان جذب نور خورشید و میزان ولتاژ مدار باز می‌توان بازدهی در سلول‌های خورشیدی پلیمری را افزایش داد. اما با توجه به محدودیت در انتخاب و بهبود خواص پلیمرها، انجام تحقیقات در زمینه تولید سلول‌های خورشیدی پلیمری با ساختارهای جدید که توانایی بهبود بازده در مقیاس قابل توجه را داشته باشند، ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی برای توزیع هرچه بهتر نانولوله کربنی در پلی آنیلین مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به حل کردن نانولوله کربنی و پلی آنیلین در حلال آلی، مخلوط ذوبی، پلیمریزاسیون درجا و روش الکتروشیمیایی اشاره نمود [۳۹ و ۴۰]. برخی از این روش‌ها باعث بهبود در توزیع نانولوله‌های کربنی و در نتیجه ارتقای خواص مطلوب این کامپوزیت‌ها شده است. با این حال، یکی از روش‌های مناسب برای بهبود بخشیدن به توزیع یکنواخت نانولوله کربنی در زمینه پلی آنیلین، عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی است که کمک شایانی به بهبود این خاصیت و در نتیجه افزایش خواص مطلوب در این کامپوزیت‌ها می‌کند [۴۰].

۴ نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت عواملی چون بهبود شفافیت، انعطاف‌پذیری، کاهش هزینه و افزایش بازده از مهم‌ترین مسائل مورد بررسی

پی‌نوشت‌ها:

1. poly[2,7-(9,9-dioctyl-fluorene)-alt-5,5-(4,7'-di-2-thienyl-2',1',3'-benzothiadiazole)]	5. poly-[2-methoxy-5,2'-ethylhexyloxy]-1,4-(1-cyanovinylene)-phenylene]	ester
2. poly (3-hexylthiophene)	6. poly (9,9'-dioctylfluorene-co-bis-N,N'- (4-butylphenyl) -bis-N,N'-phenyl-1,4-phenylenediamine)	9. Coakley
3. poly [2-methoxy-5-(2'-ethyl-hexyloxy) -1,4-phenylene vinylene]	7. 6,6-phenyl-C21-butyric acid methyl ester	10. Scharber
4. poly[N-9'-hepta-decanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4',7'-di-thienyl-2'1',3'-b3nzothiadizaole)]	8. 6,6-phenyl-C71-butyric acid methyl ester	11. Minnaert
		12. Koster
		13. Servaites



1. T. Ito, H. Fukushima, M. Yamaguchi. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 83 (2004) 91–99.
2. J. Lee, N. Lakshminarayan, S.K. Dhungel, K. Kim, J. Yi. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 93 (2009) 256–261.
3. S.H. Park, A. Roy, S. Beaupre, S. Cho, N. Coates, J.S. Moon, D. Moses, M. Leclerc, K. Lee, A.J. Heeger, *Nature Photonics* 3 (2009) 11–33.
4. Y.Y. Liang, D.Q. Feng, Y. Wu, S.T. Tsai, G. Li, Gang, C. Ray, L.P. Yu. *American Chemical Society*. 14 (2009) 7792–7799.
5. E.A. Katz, S. Gevorgyan, M.S. Orynbayev, F.C. Krebs, *Applied Physics* 36 (2007) 25–37.
6. S-Gh. Ihn, K.S. Shin, M. JinJin, X. Bulliard, S.y. Yun, Y.S. Choi, Y. Kim, J.H. Park, M. Sim, M. Kim, K. Cho, T. Kim, D. Choi, J. Y. Choi, W. Choi, S. Kim. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 95 (2011) 1610–1614.
7. M. Kohlstädt, M. Grein, P. Reinecke, T. Kroyer, B. Zimmermann, U. Würfel. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 117 (2013) 98–102.
8. X. Gong, M.H. Tong, Y.J. Xia, W.Z. Cai, J.S. Moon, Y. Cao, G. Yu, C.L. Shieh, B. Nilsson, A.J. Heeger, *Science* 55 (2009) 1626–1667.
9. F. Banishoeib, A. Henckens, S. Fourier, G. Vanhooyland, M. Breselge, J. Manca, T.J. Cleij, L. Lutsen, D. Vanderzande, L.H. Nguyen, H. Neugebauer, N.S. Sariciftci, *Thin Solid Films* 106 (2008) 3978–3988.
10. F. Banishoeib, P. Adriaensens, S. Berson, S. Guillerez, O. Douheret, J. Manca, S. Fourier, T.J. Cleij, L. Lutsen, D. Vanderzande. *Energy Material Sol. Cells* 91 (2007) 1026–1037.
11. C.Y. Yu, C.P. Chen, S.H. Chan, G.W. Hwang, C. Ting. *Chemical Material* 21 (2009) 522–569.
12. W. Yue, Y. Zhao, S.Y. Tian, Z.Y. Xie, Y.H. Geng, F.S. Wang. *Material Chemical* 19 (2009) 2199–2206.
13. M. Nam, S. Kim, S. Kim, S. Jeong, S.W. Kim, K. Lee. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 126 (2014) 163–169.
14. B. Gao, C. Gao, H. Wu, W. Que, W. Wei. *Materials Letters* 122 (2014) 74–77.
15. S. Ebrahim, T. M. Abdel-Fattah, M. Soliman, M. Hafez, *ECS transactions*, Vol 41, Issue 4, (2011), 135–140.
16. Wanzhu C., Xiong G., Yong C., *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94, (2010) 111–114.
17. Antonio F. *Materials Today*, 16 (2013) 123–132.
18. Y. Zhanga, Zh. Lib, S. Wakima, S. Alema, S. Tsanga. *Organic Electronics* 12, (2011) 1211–1215.
19. E. -Gutiérrez, J-L Maldonado, J Nolasco, G R-Ortiz, M Rodríguez, U.M-De la Torre, M-A M.Nava, O. Barbosa-García, H G-Ortega, N. Farfán, G Granados, R Santillan, E Juaristi. *Optical Materials*. 36, (2014) 1336–1341.
20. C. Winder, N.S. Sariciftci. *Material Chemical*, 14 (2004) 1077–1086.
21. M.C. Scharber, D. M. uhlbacher, M. Koppe, P. Denk, C. Waldauf, A.J. Heeger, C.J. Brabec. *Advance Material* 18 (2006) 789–794.
22. W. Matthew, U. Ashraf. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 107 (2012) 87–111.
23. G. Dennler, M.C. Scharber, C.J. Brabec, *Advance Material* 21 (2009) 1–16.
24. C. Winder, N.S. Sariciftci, *Material Chemical* 14 (2004) 1077–1086.
25. D. K. Susarova, Andre E. Goryachev, D. V. Novikov, N. N. Dremova, S. M. Peregodova, V. F. Razumov, P. A. Troshin. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 120, (2014), 30–36.
26. C. Barone, G. Landi, A. DeSio, H. C. Neitzert, S. Pagano. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 122 (2014) 40–45.
27. M.C. Scharber, N.S. Sariciftci, *Progress in Polymer Science* 38 (2013) 1929–1940.
28. C.J. Brabec, A. Cravino, D. Meissner, N.S. Sariciftci, T. Fromherz, M.T. Rispens, L. Sanchez, J.C. Hummelen, *Material* 11 (2001) 374–240.
29. W.J.H. Gennip, J.K.J. van Duren, P.C. Thüne, *Chemical Physics* 117 (2002) 94–935.
30. H. Gommans, B. Verreet, B.P. Rand, R. Muller, J. Poortmans, P. Heremans, J. Genoe, *Material* 18 (2008) 3686–3691.
31. P. Li, X. Li, Ch. Sun, G. Wang, J. Li, T. Jiu, J. Fang, *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 126, (2014), 36–41.
32. S. Gunes, H. Neugebauer, N.S. Sariciftci, *Chemical Reviews*. 107 (2007) 1324–1338.
33. H. Hoppe, N.S. Sariciftci. *Science* 214 (2008) 1–86.
34. K. Takanezawa, K. Tajima, K. Hashimoto, *Applied Physics Lett.* 93 (2008) 02324-1-3.
35. J. Yan, T. Ni, F. Zou, Li. Zhang, D. Yang. *Diamond and Related Materials* 41, (2014), 79–83.
36. C. Oueiny, S. Berlioz, F-X. Perrin. *Progress in Polymer Science* 39, (2014) 707–748.
37. H. Niua, Sh. Qin, X. Mao, Sh. Zhang, R. Wang, L. Wan, J. X. Miao. *Axle-sleeve. Electrochimica Acta*. 121, (2014), 285–293.
38. S. AbdulMohsin, Z. Li, M. Mohammed, K. Wu, J. Cui, *Synthetic Metals* 162 (2012) 931–935.
39. Dao-jun Guo, Hu-lin Li, *Solid State Electrochem* 9 (2005): 445–449.
40. Sambhu B., Dipak K., Nikhil K. S., J.H. Lee, *Progress in Polymer Science*. 34. (2009). 783–810.