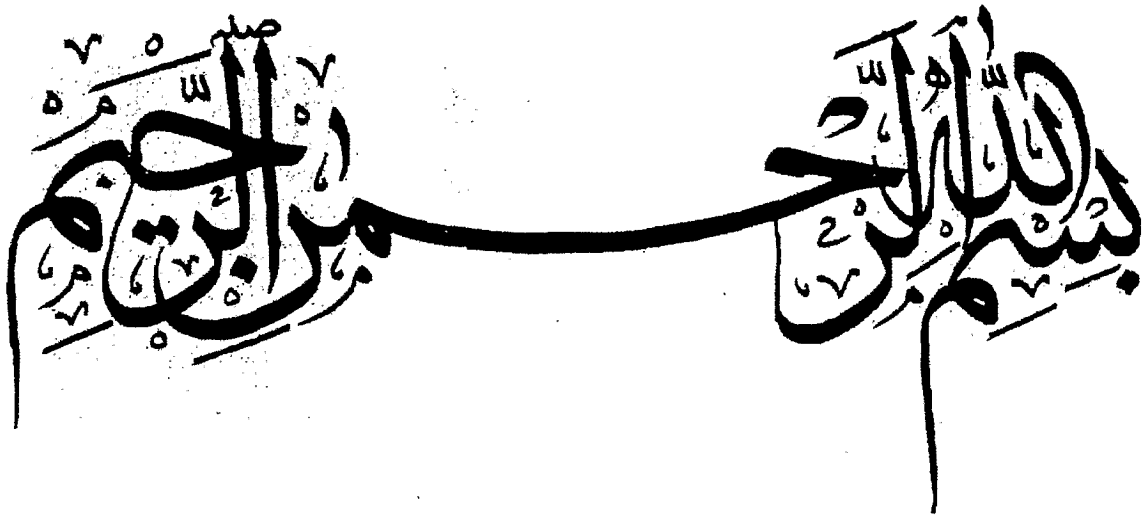

١٢٦٩١٤

دانشگاه یزد

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فیزیک اتمی و مولکولی

مطالعه مشخصات I-V و C-V دیود شاتکی تهیه شده از کوپلیمرهای هتروسیکل

استاد راهنما: دکتر عباس بهجت

استاد مشاور: دکتر محمد رضا ناطقی

پژوهش و نگارش: سمانه مظفری

۱۳۸۸/۷/۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

اسفند ماه ۱۳۸۷

۱۲۶۹۱۴

تقدیم به:

گل یاس زندگانیم، مادر صبور و فداکارم، که شکوفه‌های عشق، ایمان، باور، راستی و تلاش را در وجودم رویانید و پرورانید.

هستی بخش زندگانیم، پدر مهربانم، اسوه وفا و صمیمیت، که نور امید را در وجودم تابان نگاه داشته‌اند.

دو گوهر ارزشمند در صدف زندگانیم، خواهر و برادر عزیزم که همواره مشوق و همراه من بوده‌اند.

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران خدایی را که شب تار زندگیم را به فروغ علم و دانش روشنایی بخشید، یگانه‌ای که دل پویای حقیقت جو را به نور معرفت خویش بیافروخت، هم او که به قلم سوگند یاد کرد، انسان را به خواندن فرا خواند و کلمه را به وی آموخت، هرچند سخن عشق او در کلام نگنجد.

و سپاس آن‌هایی را که نعمت اندیشیدن را به من ارزانی داشتند و یاریم دادند تا راهی را که در پی بی‌نهایت علم آغاز نموده‌ام به انجام رسانم و شکر گزارم که این پایان، تولد نگرشی نو بر کتیبه همیشه حیرت آور آفرینش خواهد بود و در پیمودن این راه نه چندان سهل هدایت‌گرانی باید، که اگر روشنگری هدایت گرانه‌شان نبود، حتی تصور روزنه امیدی برای این تولد، محال می‌نمود. هر چند قدرت واژه‌ها در برابر زحماتشان قد خم می‌کنند، ولی با زبان قاصر از دانشمندان فرزانه آقایان دکتر بهجت و دکتر ناطقی که علاوه بر ادب ، درس ادب نفس را هم از ایشان آموخته‌ام و با قبول زحمت راهنمایی این رساله بر بنده حقیر منت نهاده، نهایت قدردانی را دارم، بزرگوارانی که در سایه بلند اندیشه‌شان لذت اندیشیدن را درک کردم. آرزوی من و تمام دانش‌آموختگانشان این است که " حق به سلامت داردشان"

نگاهی دیگر از جنس سپاس، تقدیم به جناب آقای دکتر ملکی (داور خارجی)، جناب آقای دکتر برهانی (داور داخلی) که توجه خود را از تلاش حقیر دریغ ننمودند و بذل عنایتشان مرا تا همیشه قدر شناس خواهد کرد.

همچنین از مسئولین آزمایشگاه‌های فیزیک و شیمی دانشگاه یزد و مسئولین آزمایشگاه‌های فیزیک و شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد که مرا در اتمام این پروژه یاری نموده‌اند، سپاس گزارم.

پیشاپیش گرم‌ترین سپاس‌های خود را نثار بزرگوارانی می‌کنم که در این دفتر به دیده لطف و عنایت می‌نگرند و نگارنده را از نقد و نظر خویش بهره‌مند می‌سازند.

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی	صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد	شناسه: ب/ک/۳

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای/ خانم: سمانه مظفری دانشجوی کارشناسی ارشد

رشته/گرایش: فیزیک اتمی مولکولی

تحت عنوان:

مطالعه مشخصات I-V و C-V دیود شاتکی تهیه شده از کوپلیمرهای هتروسیکل

و تعداد واحد: ۶ درتاریخ ۸۷/۱۲/۱۳ باحضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.

پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان‌نامه با نمره: به عدد ۱۹/۹۰ به حروف نوزده ونود صدم

و درجه عالی مورد تصویب قرارگرفت.

عنوان	نام و نام خانوادگی	امضاء
استاد/ استادان راهنما:	دکترعباس بهجت	
استاد/ استادان مشاور:	دکتر محمد رضا ناطقی	
متخصص وصاحبنظرداخلی:	دکتر محمود برهانی	
متخصص و صاحبنظرخارجی:	دکتر محمد هادی ملکی	

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: دکترحمید رضا زارع

امضاء:

چکیده:

دیودهای شاتکی پلیمری با استفاده از پیرول، ایندول و کوپلیمر متشکل از این دو ماده به روش الکتروشیمیایی در حضور آنیون‌های متفاوتی مانند $(ClO_4)^-$، $(Fe(CN)_6)^{-3}$، $(BF_4)^-$ و $(C_7H_7SO_3)^-$ بر روی طلا که به روش تکنیک در خلأ روی زیر بنای شیشه لایه نشانی شده بود، تهیه شدند. با اندازه‌گیری نمودار جریان- ولتاژ، پارامترهای پیوندگاه (فاکتور ایده‌ال، ارتفاع سد، جریان اشباع معکوس و نسبت یکسوسازی) با استفاده از تئوری گسیل گرمایونی محاسبه شد و تئوری گسیل پوله- فرنکل و مکانیسم بارهای محدود شده در ناحیه بار-فضا مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد، وجود لایه مرزی بین پلیمر نیمرسانا و فلز در اندازه‌ی ارتفاع سد و فاکتور ایده‌ال تأثیر بسیاری دارد. عواملی مانند پایداری پلیمر، نفوذ فلز در حین تبخیر به درون پلیمر، بر هم‌کنش آنیون دوپه کننده با فلز لایه نشانی شده بر روی پلیمر و .... باعث ایجاد لایه مرزی می‌شود.

چگالی حامل‌های بار، پتانسیل اتصال و پهنای ناحیه بار-فضا با استفاده از نمودار C^{-2}-V دیود به دست آمد و محاسبات نشان داد، پارامترهای پیوندگاه در دیودهای ساخته شده از پلی-(پیرول-کو-ایندول) بین پارامترهای پیوندگاه دیودهای ساخته شده از پیرول و ایندول به طور مجزا است.

مشخص شد پلیمریزاسیون پلیمر با آنیون‌های کوچک $(ClO_4)^-$ خواص الکتریکی بهتری را نشان می‌دهد. همچنین گاف انرژی پلیمرها با استفاده از طیف سنجی UV-vis اندازه‌گیری شد.

از دستگاه میکروسکوپ الکترون پویشی جهت شکل شناسی فیلم‌های پلیمر استفاده شد. تصاویر به دست آمده نشان داد، نوع آنیون دوپه کننده و زمان پلیمریزاسیون نقش مؤثری بر یکنواختی، رسانندگی و ضخامت فیلم‌ها دارد. هر چه ضخامت کمتر باشد فیلم‌ها دارای سطح صاف‌تر، آمورف و ساختار غیر رشته‌ای هستند و با افزایش ضخامت بر ناهمواری‌های سطح افزوده می‌گردد.

فهرست

فصل اول مقدمه ۱
مقدمه ۲
۱-۱ تاریخچه پلیمرهای رسانا ۳
۱-۲دیودهای پلیمری ۴
۱-۳ کاربرد پلیمرهای رسانا در فیزیک و الکترونیک ۹
۱-۳-۱ ابرخازن‌ها ۹
۱-۳-۲ نمایشگرهای پلیمری ۹
۱-۳-۳ پلاستیک جدید تولید کننده‌ی برق ۱۰
۱-۳-۴ شیشه‌های الکتروکرومیک ۱۰
فصل دوم دیودها ۱۲
مقدمه ۱۳
۲-۱ مواد نیم‌رسانا ۱۳
۲-۱-۱ نیم‌رساناهای ذاتی ۱۳
۲-۱-۲ نیم‌رسانای غیرذاتی ۱۴
۲-۲ پیوند P-N ۱۴
۲-۲-۱ تراز فرمی در حالت تعادل ۱۶
۲-۲-۲ اثر دما بر پتانسیل سد ۱۶
۲-۲-۳ اعمال ولتاژ خارجی به پیوند P-N ۱۷
۲-۲-۳-۱ بایاس معکوس ۱۷
۲-۲-۳-۱-۱ جریان نشتی سطحی ۱۸
۲-۲-۳-۱-۲ ولتاژ شکست ۱۹
۲-۲-۳-۲ بایاس مستقیم ۲۰
۲-۲-۴ منحنی مشخصه‌ی دیود ۲۱
۲-۲-۵ مقاومت دیود ۲۲
۲-۲-۵-۱ مقاومت ایستایی ۲۳
۲-۲-۵-۲ مقاومت پویایی (ac) ۲۳
۲-۲-۵-۲-۱ روش ترسیمی ۲۳
۲-۲-۵-۲-۲ روش تقریبی ۲۴

۲-۲-۶ مدارهای معادل دیود ۲۵
۲-۲-۷ کاربرد دیودها ۲۶
۲-۲-۸ انواع دیودها ۲۶
۲-۲-۸-۱ وریستورها (VDR) ۲۷
۲-۲-۸-۲ فوتودیودها ۲۷
۲-۲-۸-۳ دیود نورده ۲۸
۲-۲-۸-۴ دیودهای خازنی ۲۸
۲-۲-۸-۵ دیود زنر ۲۹
۲-۳ پیوندگاه فلز- نیم‌رسانا ۲۹
۲-۳-۱ اتصالات یکسوساز (دیود سد شاتکی) ۳۰
۲-۳-۱-۱ حالت‌های سطحی در سد شاتکی ۳۲
۲-۳-۱-۲ مشخصه‌ی جریان- ولتاژ در دیود سد شاتکی ۳۳
۲-۳-۲ اتصال غیریکسوساز (اهمی) ۳۵
۲-۴ مقایسه بین سد شاتکی و دیود پیوندی P-N ۳۵
فصل سوم پلیمرها ۳۷
مقدمه ۳۸
۳-۱ ساختار پلیمرها ۳۸
۳-۲ پلیمریزاسیون ۳۸
۳-۲-۱ پلیمریزاسیون افزایشی ۳۹
۳-۲-۲ پلیمریزاسیون تراکمی ۳۹
۳-۳ کوپلیمر ۳۹
۳-۳-۱ انواع کوپلیمر ۴۰
۳-۴ خواص پلیمرها ۴۱
۳-۵ تخریب مولکولی پلیمر ۴۲
۳-۶ تقسیم‌بندی پلیمرها بر اساس پیوند π ۴۲
۳-۷ گاف انرژی ۴۳
۳-۷-۱ مدل الکترون تقریبا آزاد ۴۴
۳-۸ رزنانس ۴۶
۳-۹ نقص در زنجیره ۴۷
۳-۱۰ سولیتون و انواع آن ۴۸
۳-۱۰-۱ سولیتون خنثی ۴۹

۳-۱۰-۲ سولیتون باردار منفی ۴۹
۳-۱۰-۳ سولیتون باردار مثبت ۴۹
۳-۱۱ روش‌های آلائیدن..... ۵۰
۳-۱۱-۱ روش شیمیایی..... ۵۱
۳-۱۱-۲ روش نوری ۵۱
۳-۱۱-۳ روش فیزیکی ۵۲
۳-۱۲ پلارون و بی‌پلارون..... ۵۳
۳-۱۳تهیه فیلم‌های پیرول، ایندول و کوپلیمر متشکل از این دو ماده..... ۵۵
فصل چهارم وسایل و روش انجام آزمایش..... ۵۷
مقدمه ۵۸
۴-۱ دستگاه‌ها..... ۵۹
۴-۱-۱ دستگاه آنالیز الکتروشیمیایی ۵۹
۴-۱-۲ دستگاه لایه نشانی تبخیر در خلأ..... ۵۹
۴-۱-۳ دستگاه اسپکترومتر تک پرتویی UV-vis ۶۰
۴-۱-۴ اسیلوسکوپ دیجیتالی..... ۶۰
۴-۱-۵ اندازه‌گیری منحنی مشخصه جریان- ولتاژ ۶۱
۴-۱-۶ RCL متر دیجیتالی ۶۲
۴-۱-۷ دستگاه FTIR..... ۶۲
۴-۱-۸ دستگاه میکروسکوپ الکترون پویشی ۶۳
۴-۲ مواد..... ۶۳
۴-۳ روش تهیه محلول‌ها..... ۶۳
۴-۳-۱ تهیه محلول ۰/۱ مولار مونومر پیرول (ایندول) در حلال آلی..... ۶۳
۴-۳-۲ تهیه محلول ۰/۱ مولار کومونومر پیرول و ایندول در حلال آلی..... ۶۳
۴-۳-۳ تهیه محلول ۰/۱ مولار در حلال آلی- آبی ۶۴
۴-۴ روش تهیه دیود..... ۶۴
۴-۴-۱ لایه نشانی طلا ۶۵
۴-۴-۲ تهیه فیلم‌های پلیمری..... ۶۵
۴-۴-۳ لایه نشانی الکترودهای فلزی ۶۶
فصل پنجم نتایج و بحث..... ۶۸
۵-۱ بررسی نمودار جریان- ولتاژ. ۶۹
۵-۱-۱ گسیل گرمایونی ۶۹

۵-۱-۲ گسیل پوله- فرنکل..... ۷۰
۵-۱-۳ جریان محدود شده در ناحیه بار- فضا (SCLC)..... ۷۱
۵-۲ تعیین پارامترهای پیوندگاه از منحنی مشخصه جریان-ولتاژ..... ۷۲
۵-۳ اندازه‌گیری ظرفیت- ولتاژ ۷۴
۵-۴ اثر نوع پلیمر بر پارامترهای پیوندگاه ۷۷
۵-۵ اثر نوع آنیون آلاینده..... ۸۰
۵-۶اثر نوع فلز یکسوساز..... ۸۴
۵-۷ اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های پلیمری..... ۸۶
۵-۸ تعیین گاف انرژی لایه‌های پلیمری..... ۸۷
۵-۸-۱ اثر آنیون آلاینده بر گاف انرژی..... ۸۸
۵-۸-۲اثر نوع پلیمر بر گاف انرژی..... ۸۹
۵-۹بررسی طیف FTIR..... ۹۰
۵- ۱۰ نتیجه‌گیری..... ۹۲
۵- ۱۱ پیشنهادات..... ۹۴
چکیده انگلیسی
مراجع

فصل اول:

مقدمه

مقدمه

کشف پلیمرهای رسانا در سال‌های اخیر با توجه به تنوع بسیار زیاد، تولید در حجم بالا، مقرون به صرفه بودن و انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به مواد معدنی و ترکیبات آن‌ها باعث شده است که امروزه از آن‌ها در ساخت قطعات الکترونیکی و اپتیکی استفاده فراوانی شود، به طوری که الکترونیک جدید مبتنی بر تکنولوژی قطعاتی است که از پلیمرهای رسانا حاصل شده است.

در جریان تحقیق در سیستم‌های پلیمری، بررسی‌های زیادی بر روی خواص شیمیایی و فیزیکی این نوع از پلیمرها صورت گرفت و مشخص شد که می‌توان با آلائیدن [1](دوپه کردن) ساختمان فضایی آن‌ها را طوری تغییر داد که بر حسب نیاز جهت مقاصد خاصی مورد استفاده قرار گیرند. اگر از یک زنجیره پلیمری دارای پیوند π که لایه والانس آن تکمیل شده است، یک الکترون برداشته شود (اکسایش) یا به آن یک الکترون اضافه گردد (کاهش)، در این صورت با ایجاد یک آرایش مناسب شبیه به فلزات می‌توان خاصیت رسانندگی را در آن‌ها ایجاد کرد. به عبارت دیگر آلائیده شدن پلیمرهای رسانا در طول فرایند پلیمریزاسیون باعث ایجاد ترازهای سالیتون[2]،پلارون[3] و بی‌پلارون[4] در داخل گاف نواری انرژی شده که بر رسانندگی آن‌ها تأثیر بسزایی دارد[۱].

از آنجا که از این گونه از پلیمرها در سطح بسیار وسیع می‌توان هم به عنوان رسانای جریان الکتریکی و هم عایق استفاده کرد، با ترکیب کردن انواع مختلفی از آن‌ها با غلظت‌های متفاوت که کوپلیمر کردن نامیده می‌شود، می‌توان رسانایی الکتریکی دلخواه و کنترل شده‌ای را به دست آورد.

با توجه به پیشرفت روز افزون در زمینه تهیه انواع پلیمرهای رسانای جریان الکتریسته و ابداع روش‌های گوناگون برای تهیه آن‌ها با رسانایی الکتریکی بالا، مقاومت مکانیکی مناسب،

---

[1] Doping
[2] Soliton
[3] Polaron
[4] Bipolaron

ساختار مشخص و دلخواه زنجیرهای پلیمر با انواع عوامل فیزیکی و شیمیایی، به کارگیری این پلیمرها در جنبه‌های گوناگون علوم و تکنولوژی میسر شده است. کاربردهای بسیار متنوع این پلیمرها انگیزه بسیار مناسبی است که پژوهشگران در این رشته، در زمینه تهیه این پلیمرها و پیدا کردن کاربردهای جدید، گسترش و بهبود کاربردهای کنونی، قدم‌های مؤثر و لازم را بردارند.

در این پایان نامه ابتدا در مورد تاریخچه پلیمرهای رسانا و کاربرد آن‌ها در فیزیک و الکترونیک توضیحاتی را بیان کرده و سپس دیودها و انواع آن و ساختار پلیمرهای نیم‌رسانا را مورد مطالعه قرار می‌دهیم، در پایان به بررسی دیودهای شاتکی تهیه شده از پلیمرهای نیم‌رسانا و عوامل تأثیر گذار بر پارامترهای الکتریکی آن می‌پردازیم.

۱-۱ تاریخچه پلیمرهای رسانا

پلی‌استیلن[1] برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۵۰ در آزمایشگاه ناتا به طور مستقیم از پلیمر شدن استیلن به‌دست آمد. اما به احتمال زیاد به علت حساسیت پودر سیاه رنگ حاصل، در مقابل اکسایش و نبود تکنولوژی مناسب جهت بهره برداری از آن، آزمایش‌های بیشتر روی آن انجام نشد. اما چند سال بعد در سال ۱۹۷۰ در اثر یک اتفاق ساده، یکی از دانشجویان انیستیو تکنولوژی توکیو به نام شیراکاوا[2]، پلی‌استیلنی را به دست آورد که حاصل تلاش شیراکاوا، مک‌دایارمید و هیگر بر روی پلیمر به دست آمده توسط عمل آلائیدن بود. آن‌ها توانستند برای اولین بار میزان رسانندگی الکتریکی پلی‌استیلن را تا ۱۰ میلیارد برابر حالت معمولی پلیمر افزایش دهند، که نتیجه این کار مشترک به دریافت جایزه نوبل در سال ۲۰۰۰ منجر شد[۲].

بعد از کشف اثر آلایش در پلی‌استیلن از سال ۱۹۷۷ به بعد توجه موسسات تحقیقاتی و مراکز علمی بسیاری به این نوع پلیمرها معطوف گردید و در این زمینه پیشرفت‌های گسترده‌ای

[1] Polyacetylene
[2] Shirakawa

حاصل شد و از آن تاریخ تاکنون تعداد نامحدودی کارهای نظری در این زمینه صورت گرفت، ولی از نظر تکنولوژی هنوز مشکلات فراوانی وجود دارد.

قابل ذکر است که نتایج حاصل از پلیمرهای رسانایی مانند پلی‌تیوفن[1]، پلی‌پیرول[2]، پلی-ایندول[3] و پلی‌فنیلن‌وینیلن[4] در بسیاری از مقالات معتبر علمی گزارش شده است.

2-1 دیودهای پلیمری

در سال ۱۹۹۲ توموزاوا[5] و همکاران دیود شاتکی با استفاده از پلیمر نیم‌رسانای تیوفن ساختند. در طی این فرایند تیوفن به روش الکتروشیمیایی بر روی الکترود طلا تهیه و فلز آلومینیم بر روی آن پرس شد و مشخصه‌های الکتریکی آن مورد بررسی قرار گرفت[۳].

کامپوس[6] و همکاران در سال ۲۰۰۰ دیود شاتکی با ساختار آلومینیم/ پلی‌تیوفن و آلومینیم/ پلی‌آنیلین را به روش الکتروشیمیایی ساختند و از آن‌ها به عنوان سنسور برای مشخص کردن غلظت گاز متان استفاده کردند. نتایج به دست آمده از منحنی مشخصه‌های جریان- ولتاژ و ظرفیت- ولتاژ در دمای اتاق نشان داد، میزان غلظت و مدت زمان قرار گرفتن دیود در مجاورت این گاز بر رفتار منحنی‌های مشخصه اثر زیادی می‌گذارد[۴].

در سال ۲۰۰۱ کانتو[7] و همکاران فیلم پلیمری با استفاده از مشتقات تیوفن را با لایه نشانی چرخان بر روی اکسید ایندیم آلائیده به قلع تهیه کردند. در این ساختار از آلومینیم به عنوان اتصال یکسوساز استفاده شد. منحنی مشخصه‌های جریان- ولتاژ و اثر فوتوولتائیک برای این دیودها

---

[1] Polythiphene
[2] Polypyrrole
[3] PolyIndole
[4] Poly(phenylen vinylen)
[5] Tomozawa
[6] Campos
[7] Kaneto

مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد وجود یک لایه اکسید در ناحیه بار-فضا (مرز بین پلیمر و آلومینیم در تولید زوج الکترون-حفره با تاباندن فوتون به دیود نقش اساسی را ایفا می‌کند[۵].

ساکسنا[1] و همکاران در سال ۲۰۰۳ دیودهای شاتکی با استفاده از دو مشتق تیوفن و کوپلیمر متشکل از دو مشتق تیوفن با اتصال یکسوساز نقره، آلومینیم، قلع و ایندیم ساختند. فیلم-های پلیمر به روش لایه نشانی چرخان بر روی زیر بنای دی اکسید قلع تهیه شد و با اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان- ولتاژ و ظرفیت- ولتاژ برای این دیودها، خواص الکتریکی آن‌ها محاسبه گردید[۶]. در همان سال رپ[2] و همکاران، تیوفن را با مقادیر مختلفی از یک نوع آنیون آلائیدند و از آن دیود شاتکی ساختند. بررسی‌های انجام شده نشان داد، افزودن آنیون با مقادیر مختلف به تیوفن در حین فرایند الکتروشیمیایی، باعث تغییر در مقاومت لایه بار-فضا و در نتیجه تحرک حامل‌های بار در محل اتصال فلز/ آلومینیم و ارتفاع سد شاتکی می‌شود[۷].

پلی‌پیرول از جمله پلیمرهای رسانایی است که به علت داشتن رسانندگی الکتریکی بالا در ساخت دیود شاتکی مورد استفاده قرار گرفته است.

در سال ۱۹۹۶ بانتیکاسنگ[3] و همکاران پیرول را با دو آنیون متفاوت آلائیدند و از آن در ساخت دیود شاتکی استفاده کردند. مطالعه بر روی منحنی مشخصه جریان- ولتاژ نشان داد، آلایش پیرول با آنیون کوچکتر رفتار یکسوسازی و با آنیون بزرگتر رفتار متقارن و غیر اهمی را سبب می‌شود. نتایج حاصله از بررسی دیودها به این نتیجه منجر شد که مدار معادل در ناحیه بار-فضا را می‌توان حاصل از مقاومتی در نظر گرفت که با خازن به طور موازی بسته شده است [۸].

نگوین[4] و همکاران در سال ۱۹۹۸ از آنیون‌های مختلف جهت تهیه فیلم پلی‌پیرول به روش الکتروشیمیایی استفاده کردند. از طلا به عنوان اتصال، در مجاورت فیلم پلی‌پیرول استفاده شد. مشخصه جریان- ولتاژ برای دیودها شکل غیرمتقارن و غیر خطی را نشان داد. همچنین از این

---

[1] Saxena
[2] Rep
[3] Bantikasseng
[4] Nguyen

دیودها به عنوان سنسور برای مشخص کردن غلظت گاز NO_x استفاده شد و مشخص شد، ارتفاع سد پتانسیل و غلظت حامل‌ها وابستگی شدیدی بر میزان غلظت این گاز دارد[۹]. در همان سال وانگ[1] و همکاران دیود شاتکی با ساختار دی اکسید تیتانیم/ پلی‌پیرول را ساختند و اثر ضخامت فیلم‌های پلی‌پیرول بر یکسوسازی مورد مطالعه قرار گرفت. در طی بررسی‌های انجام شده معلوم شد فیلم پلی‌پیرول که دارای ضخامتی در حدود ۳۰۰ نانومتر است، رفتار یکسوسازی بهتری را نشان می‌دهد[۱۰].

در سال ۲۰۰۰ دیود شاتکی با استفاده از پیرول در دو حالت مایع و جامد توسط ابای[2] و همکاران ساخته شد. فیلم‌های نازک پلی‌پیرول بین دو الکترود فلزی طلا به عنوان اتصال اهمی و الکترودهای سزیم و ایندیم به عنوان اتصال یکسوساز ساندویچ شدند. پس از بررسی منحنی مشخصه‌های جریان-ولتاژ و ظرفیت- ولتاژ برای دیودها نشان داد، دیود ساخته شده از پیرول در حالت مایع رفتار یکسوسازی بهتری را نسبت به دیود ساخته شده از ماده مذکور در حالت جامد نشان می‌دهد[۱۱].

ابتاگیر[3] و همکاران در سال ۲۰۰۱ دیودی با نیم‌رسانای پیرول با ساختار(In, Al) / پلی-پیرول ساختند. منحنی مشخصه جریان –ولتاژ و ظرفیت –ولتاژ در دمای اتاق برای دیودها مورد بررسی قرار گرفت و خواص الکتریکی این قطعه با استفاده از تئوری گسیل گرمایونی تخمین زده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اتصال آلومینیم/ پلی‌پیرول یکسوسازی بهتری را نسبت به ایندیم/ پلی‌پیرول نشان می‌دهد. همچنین رسانندگی، گاف انرژی و تابع کار پلیمر اندازه‌گیری شد[۱۲].

شارما[4] و همکاران در سال ۲۰۰۳ فیلم پلی‌پیرول را به روش لایه نشانی چرخان بر روی لایه‌ای از اکسید ایندیم آلائیده به قلع تهیه کردند و از الکترود آلومینیم جهت اتصال یکسوساز

---

[1] Wang
[2] Abay
[3] Abthagir
[4] Sharma

استفاده شد.

خواص الکتریکی و الکترواپتیکی دیود بر اثر افزودن رنگ به پلیمر مورد بررسی قرار گرفت[۱۳].

اثر تغییر دما و فرکانس بر منحنی مشخصه جریان- ولتاژ و ظرفیت- ولتاژ دیود ساخته شده از سیلسیوم/ پلی‌پیرول به روش الکتروشیمیایی توسط آیدوگان[1] و همکاران در سال ۲۰۰۴ بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد به علت وجود حالت‌های سطحی در محل اتصال فلز/ پلیمر با افزایش فرکانس، ظرفیت ناحیه بار-فضا کاهش می‌یابد. با اندازه‌گیری انجام شده مشخص شد که ارتفاع سد تخمین زده شده با منحنی ظرفیت-ولتاژ بیشتر از ارتفاع سد پتانسیل به دست آمده از منحنی جریان- ولتاژ در دماهای متفاوت است. همچنین اثر دما برگاف انرژی و تراز فرمی سیلسیوم مورد بررسی قرار گرفت[۱۴].

کینگ[2] و همکاران در سال ۲۰۰۷ با استفاده از سنتز شیمیایی، کوپلیمری متشکل از ترکیبات پیرول و ۳ الکیل پیرول تهیه کردند و آن را به روش الکتروشیمیایی بر روی لایه نازکی از اکسید ایندیم آلائیده به قلع قرار دادند و با استفاده از UV-vis و IR توانستند ترازهای پلارون و بای‌پلارون را اندازه‌گیری کنند[۱۵].

ایندول به علت پایداری زیاد نسبت به عوامل محیطی (هوا و رطوبت) پلیمر رسانایی است که در ساخت دیود شاتکی از آن استفاده می‌شود.

در سال ۲۰۰۴ ابتاگیر و همکاران ایندول و مشتقات آن را به روش الکتروشیمیایی بر روی لایه‌ای از اکسید ایندیم آلائیده به قلع به عنوان زیربنا تهیه کردند و فلزات آلومینیم، ایندیم، آنتیموان و قلع را بر روی فیلم‌های پلیمر لایه نشانی کردند. منحنی مشخصه جریان- ولتاژ و ظرفیت-ولتاژ برای دیودهای ساخته شده مورد مطالعه قرار گرفت ولی برخی از دیودها رفتار یکسو سازی کمی را نشان داد[۱۶].

---

[1] Aydogan
[2] King

از دیگر پلیمرهایی که از آن‌ها در ساخت قطعات الکتریکی استفاده شد می‌توان پلی‌فینیلن-وینیلن و چیتوسن[1] را نام برد.

در سال ۲۰۰۴ موزهو[2] و همکاران با استفاده از پلی‌فینیلن‌وینیلن دیود شاتکی ساختند و مشخصه الکتریکی آن را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج به دست آمده معلوم شد هر چه ضخامت لایه پلیمری در دیودی با ساختار آلومینیم/ پلیمر/ اکسید ایندیم آلائیده به قلع کمتر باشد، یکسوسازی بهتری را نشان می‌دهد. همچنین با استفاده از تئوری جریان محدود شده در ناحیه بار-فضا میزان تحرک حفره‌ها اندازه‌گیری شد[۱۷].

آکیلیک[3] و همکاران در سال ۲۰۰۷ از چیتوسن به عنوان پلیمر نیم‌رسانا در ساخت دیود شاتکی استفاده کردند. اتصال بین سیلسیوم/ چیتوسن رفتار یکسوسازی را نشان داد. منحنی مشخصه جریان-ولتاژ این دیود در دمای اتاق مورد مطالعه قرار گرفت و خواص الکتریکی، گاف انرژی و چگالی حالت‌های سطحی آن تخمین زده شد. [۱۸].

کویس[4] و همکاران در سال ۲۰۰۴ جهت ساخت سلول‌های خورشیدی از ترکیبات پلیمرهای رسانا استفاده کردند در طی این آزمایش جریان مدار باز و ولتاژ مدار بسته در دیودها مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده نشان داد با استفاده از دریچه‌های نوری (لایه‌های اضافی) می-توان کارائی کوانتومی خارجی دیودها را تا حد زیادی بهبود بخشید[۱۹]. در کاری مشابه هیون[5] و همکاران در سال ۲۰۰۷ از ترکیب پلیمرهای رسانا با ساختار آلومینیم/ پلیمر/ اکسید ایندیم آلائیده به قلع، دیودی ساختند و از آن به عنوان سلول فوتوولتائیک استفاده کردند. مشخص شد استفاده از دریچه‌های نوری بر روی زیر بنای اکسید ایندیم آلائیده به قلع، کارائی کوانتومی خارجی را افزایش می‌دهد. منحنی مشخصه جریان-ولتاژ، شکل شناسی و خواص شیمیایی این دیود مورد مطالعه قرار گرفت [۲۰].

---

[1] Chitosan
[2] Mozho
[3] Akkilic
[4] kois
[5] Hyun

در سال ۲۰۰۷ کیماکیس[1] و همکاران بر روی زیربنای اکسید ایندیم آلائیده به قلع، فیلم-های نازکی از کربن نانوتیوپ ساختند و خواص الکترواپتیکی آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد، ضخامت فیلم‌های تهیه شده اثر زیادی بر خواص فیزیکی آن‌ها دارد. بهترین رفتار فوتوولتائیک برای فیلم کربن نانوتیوپی گزارش داده شد که دارای ضخامت ۸۰nm و مقاومتی در حدود ۳۶۲Ω/sq بود [۲۱].

۱-3 کاربرد پلیمرهای رسانا در فیزیک و الکترونیک

۱-3-۱ ابرخازن‌ها

به دلیل ماهیت عملکرد یکسان خازن‌ها و باطری‌ها، پلیمرهای رسانای به کار رفته در ساخت ابرخازن‌ها باید تمام ویژگی‌های مورد نظر در ساخت باطری‌ها را داشته باشد. این خازن‌ها از نوع باطری‌های تمام پلیمری هستند که یکی از پلیمرها حالت دوپه شده دارد و دیگری در حالت خنثی می‌باشد و ظرفیتی در حدود 1 فاراد دارند که خیلی بیشتر از ظرفیت خازن‌های تجاری موجود در بازار است. شرکت بریجستون[2] و سیکو[3] با همکاری یکدیگر ساخت انواع باطری‌ها و ابرخازن‌ها را بر عهده دارند که الکترودهای آن از جنس پلیمر می‌باشد و تا ۳۰۰ بار قابلیت شارژ مجدد دارد و خیلی بیشتر از باطری‌های معمولی عمر می‌کنند. [۲۲].

۱-۳-۲ نمایشگرهای پلیمری

هم اکنون کار بر روی پروژه‌هایی مانند آماده سازی ساخت نمایشگرهای لایه‌ای امیسیونی (بسیار نازک) آغاز شده است. در این روش غشای پلیمری را می‌توان بدون هیچ محدودیتی و با هر

[1] Kymakis
[2] Bridgestone
[3] Seiko

مساحتی تولید نمود، بنابراین مانیتورهای بزرگ ساخته شده از این روش نسبت به مانیتورهای LCD موجود، بسیار ارزان‌تر خواهد بود. تحقیقات حاصل از خواص انتشار الکتریکی پلیمرها در سطح مولکولی نشان می‌دهد که با استفاده از فن‌آوری مذکور می‌توان حامل‌های اطلاعاتی نسل جدید را به وجود آورد. حجم حامل‌های اطلاعاتی پلیمر نسبت به CD و DVD های امروزی چندین برابر بیشتر خواهد بود و در آینده حجم دیسک‌های پلیمری تا ۱۰۰ میلیارد برابر خواهد شد. به عبارتی، چندین دیسک پلیمری قادر خواهد بود تا کلیه اطلاعات موجود در جهان را به صورت دیجیتالی ضبط نمایند[۲۳].

3-3-1پلاستیک جدید تولید کننده برق

از جمله کاربردهای دیگری که می‌توان برای پلیمرهای رسانا در نظر گرفت ساخت و تولید پلاستیک جدید برای تولید برق از نور خورشید است. این پلاستیک از ماده حساس به نور مادون قرمز ساخته شده است. سیستم‌های امروزی می‌توانند ۶ درصد انرژی خورشید را به برق تبدیل نمایند، در صورتی‌که این پلاستیک جدید می‌تواند تا ۳۰ درصد انرژی خورشید را به برق تبدیل کند. در این پلاستیک‌ها با اضافه کردن ذرات کوچکی به قطر ۳ تا ۴ نانومتر که نقطه‌های کوانتومی[1] نامیده می‌شوند به پلیمر رسانا، پلاستیکی ساخته می‌شود که از نور مادون قرمز استفاده می‌شود[۲۴].

۱-۳-۴ شیشه‌های الکتروکرومیک

با انجام واکنش الکتروشیمیایی یعنی چرخه برگشت‌پذیر بین حالت رسانا (اکسنده) و حالت

[1] Quantum dots