بسم الله الرحمن الرحيم

١٠٧٥٣٨

مجتمع علوم
دانشکده فیزیک

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
فیزیک حالت جامد

بررسی دیود شاتکی تهیه شده از پلیمرهای آلی نیم‌رسانا و مطالعه برخی از مشخصه‌های الکتریکی آن

استاد راهنما:
دکتر غضنفر میرجلیلی

اساتید مشاور:
دکتر محمدرضا ناطقی
دکتر محمدعلی صادق‌زاده

پژوهش و نگارش:
فاطمه مهرعلیان

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

اسفندماه ۱۳۸۶

۱۰۷۵۳۸

تقدیم به:

پدر و مادرم،

که راستی را در انحنای قامتشان آموختم.

ستایش خدای را که ما را به این مقام راهنمایی کرد که اگر هدایت و لطف الهی نبود، به خود در این مقام راه نمی‌یافتیم.

(اعراف- ۴۳)

از استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر غضنفر میرجلیلی که هدایت و راهنمایی ایشان مرا در اتمام این پایان‌نامه یاری نمود، کمال تشکر را دارم.

از استاد عزیز و گرانقدر جناب آقای دکتر محمدرضا ناطقی که راهنمایی و مشاوره ایشان مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمود و افق دیدم را وسعت بخشید کمال تشکر را دارم.

از جناب دکتر محمدعلی صادق‌زاده که مشاوره این پایان‌نامه بر عهده ایشان بود نهایت تشکر و سپاس را دارم.

از جناب آقای دکتر فرهود ضیایی و دکتر محمود برهانی که داوری این پایان‌نامه بر عهده ایشان بود نهایت تشکر و سپاس را دارم.

از اساتید گرانقدر و محترم دانشکده فیزیک دانشگاه یزد که در طول تحصیل از ایشان بسیار آموختم، سپاس‌گزارم.

همچنین از مسئولین آزمایشگاه‌های فیزیک دانشگاه یزد و مسئولین آزمایشگاه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد که مرا در اتمام این پروژه یاری نمودند، سپاس‌گزارم.

بسمه تعالی

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

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای/ خانم: فاطمه مهرعلیان گورتانی دانشجوی کارشناسی ارشد

رشته/گرایش: فیزیک حالت جامد

تحت عنوان:

بررسی دیود شاتکی تهیه شده از پلیمرهای آلی نیم رسانا و مطالعه برخی از مشخصه های الکتریکی آن

و تعداد واحد: ۶ درتاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۱۴ باحضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.

پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان‌نامه با نمره: به عدد ۱۹/۵۰ به حروف نوزده وپنجاه صدم

و درجه عالی مورد تصویب قرارگرفت.

عنوان	نام و نام خانوادگی	امضاء
استاد/ استادان راهنما:	دکتر غضنفر میرجلیلی	
استاد/ استادان مشاور:	دکتر محمد رضا ناطقی دکتر محمد علی صادق زاده	
متخصص وصاحبنظرداخلی:	دکتر محمود برهانی زرندی	
متخصص و صاحبنظر خارجی:	دکتر فرهود ضیائی	

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: دکتر اکبر دهقان نژاد

امضاء:

چکیده:

دیودهای شاتکی پلیمری با ساختار طلا / پلی(۸،۱- دی‌آمینونفتالن) دوپه شده با یون‌های BF_4^- و ClO_4^- / فلزات (ایندیم، مس و نقره به روش الکتروشیمیایی تهیه شدند. مشخصه جریان-ولتاژ دیودهای ساخته شده تحلیل و بررسی شد و مکانیزم حاکم بر جریان این دیودها، گسیل ترمو یونی در ولتاژهای پایین و تئوری جریان محدود شده بار- فضا و گسیل پوله – فرنکل برای ولتاژهای بالا پیشنهاد شد. ارتفاع سد شاتکی، جریان اشباع معکوس، فاکتور ایده‌آل، نسبت یکسوکنندگی، ولتاژ شکست و اتصال این دیودها محاسبه و وابستگی این پارامترها به تغییر ولتاژ پلیمریزاسیون، نوع الکترود فلزی، محیط پلیمریزاسیون و یون دوپه‌کننده مطالعه شد.

مشاهده شد که تغییر ولتاژ پلیمریزاسیون بر ارتفاع سد شاتکی اثر چندانی ندارد و تنها باعث تغییر ولتاژ شکست و اتصال دیود به خاطر تغییر میزان آلایش لایه پلیمری می‌شود. همچنین الکترودهای مس و نقره بخاطر تشکیل کمپلکس در مرز اتصال فلز/ پلیمر و اصلاح لایه مرزی فاکتور ایده‌آل کمتری نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد تهیه این پلیمر در محیط آبی- اسیدی باعث کاهش سرعت پلیمریزاسیون و بهبود لایه پلیمری و در نتیجه کاهش فاکتور ایده‌آل و جریان اشباع معکوس می‌شود.

با اندازه‌گیری مشخصه ظرفیت-ولتاژ این دیودها غلظت حامل‌های بار نیم‌رسانای پلیمری و پتانسیل اتصال این پیوندگاه بدست آمد و تابع کار پلی(۸،۱- دی‌آمینونفتالن) تخمین زده شد. گاف نوار انرژی این پلیمر در دو حالت دوپه‌شده و ذاتی با استفاده از اسپکتروسکوپی جذب UV-vis و ولتامتری چرخه‌ای اندازه‌گیری شد. گاف نوار انرژی با کاهش میزان یون دوپه‌کننده افزایش می‌یابد. همچنین گاف نوار اندازه‌گیری شده به روش ولتامتری چرخه‌ای نسبت به مقادیر بدست آمده از طیف

جذبی UV-vis کوچکتر است زیرا با کاهش ضخامت لایه و طول زنجیرهای پلیمری گاف نوار انرژی افزایش می‌یابد.

تصاویر SEM فیلم نازک این پلیمر نیز تهیه و نشان داده شد که لایه‌های نازک این پلیمر کاملاً هموار و لایه متراکم است و با افزایش ضخامت به ناهمواری سطح افزوده می‌شود. ساختار فیلم پلیمری به صورت لایه‌ای و غیررشته‌ای می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	**۱**
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ تاریخچه دیودهای پلیمری	۳
۱-۳ کاربردهای مواد آلی در صنعت الکترونیک	۱۱
فصل دوم	**۱۳**
مقدمه	۱۴
۲-۱ مولفه‌های جریان الکتریکی در نیمه‌رسانا	۱۴
۲-۱-۱ جریان رسانش	۱۴
۲-۱-۲ جریان انتشاری	۱۵
۲-۱-۳ جریان تونلی	۱۵
۲-۲ پیوندگاه P-N	۱۶
۲-۲-۱ اعمال ولتاژ خارجی به پیوندگاه P-N	۱۸
۲-۲-۲ بایاس مستقیم	۱۸
۲-۲-۳ بایاس معکوس	۱۹
۲-۳ دیودهای پیوندی	۱۹
۲-۳-۱ مشخصه ولتاژ- جریان دیود	۲۰
۲-۳-۲ ساز و کار شکست دیود	۲۱
۲-۳-۲-۱ شکست بهمنی	۲۱
۲-۳-۲-۲ شکست تونلی	۲۱

۲-۳-۲-۳ شکست گرمایی ۲۲

۲-۳-۳ انواع دیود ۲۲

۲-۳-۳-۱ دیود خازنی ۲۲

۲-۳-۳-۲ دیود زنر ۲۳

۲-۳-۳-۳ دیود نورگسیل ۲۳

۲-۳-۴ مدارهای معادل دیود ۲۳

۲-۴ اتصال شاتکی ۲۴

۲-۴-۱ مدل شاتکی ۲۵

۲-۵ انواع اتصال فلز – نیمه‌رسانا ۲۷

۲-۶ اتصالات یکسوساز ۲۸

۲-۶-۱ حالت‌های سطحی در سد شاتکی ۳۰

۲-۶-۲ مقایسه بین سد شاتکی و دیود پیوندی PN ۳۲

۲-۷ فرآیندهای انتقال جریان ۳۳

۲-۷-۱ تئوری گسیل ترمویونی ۳۴

۲-۷-۲ تئوری نفوذ ۳۵

فصل سوم **۳۶**

مقدمه ۳۷

۳-۱ پلیمرهای مزدوج و غیر مزدوج ۳۷

۳-۲ پلیمر دوپه شده (آلاییده) ۴۰

۳-۳ حامل‌های بار در پلیمر رسانا ۴۳

۳-۳-۱ سولیتون ۴۳

۳-۳-۲ پلارون و بای‌پلارون ۴۶

۳-۴ دیودهای پلیمری ۴۸
۳-۵ پلیمر رسانای ۸،۱- دی‌آمینونفتالن ۵۰
فصل چهارم ۵۳
۴-۱ مقدمه ۵۴
۴-۲ لایه نازک ۵۴
۴-۳ مراحل مختلف تشکیل لایه ۵۴
۴-۴ تکنولوژی رشد لایه نازک ۵۶
۴-۴-۱ انباشت فیزیکی بخار ۵۶
۴-۴-۱-۱ تبخیر حرارتی ۵۶
۴-۴-۱-۲ کند و پاش کاتدی ۵۷
۴-۴-۲ برآرائی باریکه مولکولی ۵۸
۴-۵ برخی از کاربردهای لایه‌های نازک ۵۹
۴-۵-۱ کاربردهای خواص مکانیکی ۵۹
۴-۵-۲ کاربردهای الکترونیکی و میکروالکترونیک ۵۹
۴-۵-۳ کاربرد در صنایع اپتیکی ۶۰
۴-۶ لایه نازک پلیمری ۶۰
۴-۶-۱ سنتز شیمیایی ۶۰
۴-۶-۱-۱ لایه‌نشانی چرخان ۶۱
۴-۶-۲ سنتز الکتریکی ۶۲
فصل پنجم ۶۵
مقدمه ۶۶
۵-۱ مواد مورد استفاده ۶۷
۵-۲ دستگاه‌ها ۶۷

۵-۳ تهیه محلول‌ها ۶۹
۵-۴ روش تهیه نمونه ۷۰
۵-۴-۱ لایه‌نشانی طلا ۷۰
۵-۴-۲ تهیه فیلم پلیمری ۷۱
۵-۴-۳ لایه‌نشانی دیگر الکترود فلزی ۷۱
۵-۵ خواص الکتریکی ۷۲
۵-۵-۱ اندازه‌گیری مشخصه جریان- ولتاژ ۷۲
۵-۵-۲ اندازه‌گیری مشخصه ظرفیت- ولتاژ ۷۳
۵-۶ گاف انرژی پلیمر ۷۳
۵-۷ تهیه تصاویر SEM از سطح فیلم پلیمر ۷۴
فصل ششم **۷۵**
۶-۱ مشخصه جریان- ولتاژ ۷۶
۶-۲ مشخصه ظرفیت- ولتاژ ۸۳
۶-۳ اثر ولتاژ پلیمریزاسیون بر مشخصه I-V ۸۵
۶-۴ اثر نوع اتصال فلزی ۸۸
۶-۵ اثر محیط پلیمریزاسیون و یون دوپه‌کننده ۹۱
۶-۶ اندازه‌گیری گاف انرژی پلیمر ۹۳
۶-۶-۱ تعیین گاف نواری انرژی به روش ولتامتری چرخه‌ای ۹۵
۶-۷ تعیین تابع کار پلیمر ۹۸
۶-۸ بررسی ریخت‌شناسی و ضخامت لایه‌های پلیمری ۹۸
۶-۹ نتیجه‌گیری ۱۰۰
۶-۱۰ پیشنهادات ۱۰۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

قطعات الکترونیکی آلی و پلیمری همانگونه که از نامشان آشکار است، با لایه‌نشانی مواد آلی یا پلیمری ساخته می‌شوند و با توجه به تنوع مواد آلی و ترکیبات و مشتقات آن‌ها می‌توانند گستره وسیعی از خواص الکترونیکی و نوری را بروز دهند. قطعات الکترونیکی ساخته شده از مواد آلی علاوه بر قابلیت‌های مذکور، توانایی پاسخگویی به مهمترین چالش‌های صنعت قطعات نیم‌رسانا یعنی سختی فرایند لایه‌نشانی و آلائیدن و عدم سازگاری با محیط زیست را دارند. بدین جهت طی سه دهه اخیر، تحقیقات فراوانی در این بخش صورت گرفته است و با توجه به ظرفیت‌های بالای ایران در زمینه صنایع وابسته به نفت، خصوصاً صنعت پلیمر، ضرورت این تحقیق و بررسی بیشتر آشکار می‌گردد.

استفاده از مواد آلی و پلیمرها در ساخت قطعات الکترونیکی به واسطه ویژگی‌ها و امتیازاتی است که این مواد نسبت به نیم‌رساناهای معمولی دارند. این ویژگی‌ها عبارتند از:

۱- فرایند لایه‌نشانی مواد آلی تا حد زیادی ساده است.

۲- استفاده از مواد آلی، امکان ساخت قطعات الکترونیکی قابل انعطاف و کوچک را فراهم می‌کند.

۳- ولتاژ کاری این وسایل پایین است.

۴- هزینه ساخت این وسایل کم است.

در همین راستا، در سال‌های اخیر تلاش‌هایی در جهت بهبود عملکرد این قطعات صورت گرفته است. امروزه گروه‌های متفاوتی بر روی این موضوع کار می‌کنند از جمله آن‌ها می‌توان پژوهشگران در رشته‌های شیمی، فیزیک، زیست، مهندسی مواد و الکترونیک را نام برد. الکترونیک مولکولی با کمک این علوم به سرعت توسعه یافته است. مواد آلی از قبیل پروتئین‌ها، مواد رنگی و پلیمرهای رسانا به عنوان جایگزینی برای نیم‌رساناهای معدنی مطرح هستند. در این میان بیشترین توجه به پلیمرهای رسانا معطوف شده است. این پلیمرها با پلیمرهای معمولی متفاوتند و دارای

ساختار الکترونی نامستقرند که می‌توان آن را با حامل‌های بار نیم‌رساناها، الکترون‌ها و حفره‌ها تطبیق داد. هدایت الکترونی در پلیمر رسانا را به سولیتون‌ها و پلارون‌ها نسبت می‌دهندکه در طول پلیمریزاسیون با آلائیدن آن‌ها ایجاد می‌شوند.

اصلی‌ترین دلیلی که این مواد مورد توجه قرار گرفته‌اند این است که مطالعات انجام شده نشان می‌دهند این مواد با خواص الکترونیکی منحصر به فرد با انجام اصلاحات شیمیایی، گستره کاملی از خواص عایق تا ابررسانا را از خود بروز می‌دهند. این مواد در ساخت ابزارهای اپتیکی، الکترونیکی، حافظه و زیست‌حسگرها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دانسیته فشردگی[1] بالا، قابلیت شکل‌دهی و ویژگی‌های الکترونی قابل اصلاح به وسیله روش‌های شیمیایی از دیگر مزایای این مواد است. تاکنون پلیمرهای رسانا از قبیل پلی‌پیرول[2]، پلی‌تیوفن[3]، پلی‌آنیلین[4]، پلی‌فنیلن‌وینیلن[5]، پلی‌ایندول[6]،... و ترکیبات و مشتقات آن‌ها مورد تحقیق و بزرسی قرار گرفته‌اند و کاربرد وسیعی در زمینه ساخت قطعات الکترونیک مولکولی دارند[۱].

۱-۲ تاریخچه دیودهای پلیمری

خواص یکسوکنندگی و فتوولتایی دیودهای پلیمری نخستین بار در سال ۱۹۸۵ توسط شیروتا[7] و همکارانش با استفاده از یکی از مشتقات پلی‌کربازول[8] که به روش الکتروشیمیایی آلائیده شده بود مورد بررسی قرار گرفت[۲].

پس از آن در سال ۱۹۸۹ توموزاوا[9] و همکارانش با استفاده از یکی از مشتقات الکیلی قابل حل تیوفن دیود شاتکی پلیمری ساختند که اتصالات فلزی آن بوسیله تبخیر بر روی فیلم پلیمر

[1] Packing density
[2] Polypyrrole
[3] Polythiphene
[4] Polyaniline
[5] Poly(phenylene vinylene)
[6] Polyindole
[7] Shirota
[8] Polycarbazole
[9] .Tomozawa

رسانا ایجاد شده بود. پس از بررسی وابستگی دمایی مشخصه I-V سازوکار جدیدی برای فرایند انتقال حامل‌های بار دیود پیشنهاد شد[۳]. بررسی و تحقیق بر روی این پلیمر در سال‌های بعد پیگیری شد. در سال ۱۹۹۲ از طریق الکتروشیمیایی فیلم نازک این پلیمر بر روی سطح طلا تشکیل شده و فیلم نازک فلز آلومینیم که بر روی شیشه لایه‌نشانی شده بود را روی آن پرس کردند و مشخصه‌های الکتریکی دیود حاصله بررسی شد[۴].

لووس[1] و همکارانش نیز دیود شاتکی بر پایه اولیگومر تیوفن ساخته و مشخصه الکتریکی آن را بررسی کردند. این بررسی در دو حالت پلیمر رسانا با آلائیدگی بالا و پلیمر رسانا به صورت ذاتی انجام گرفت و دیاگرام نوار انرژی آن استنباط شد و وابستگی منحنی‌های مشخصه دیود شاتکی به میزان آلائیدگی و تاثیر آن بر کاهش سد شاتکی و افزایش رسانایی توضیح داده شد[۵]. اما مزیت‌های این پلیمر از جمله انعطاف پذیری، وزن کم و قیمت ارزان باعث شد که در سال ۱۹۹۸ در ساخت ترانزیستورهای اثر- میدانی از آن استفاده شود و با باز پخت فیلم پلیمری خواص آن را بهبود بخشند[۶].

سپس در سال ۱۹۹۹ مشتق دیگری از این پلیمر که دارای گاف نواری کوچکی بود جهت ساخت دیود بکار رفت. اما این دیود یکسوکنندگی کمی نشان داد[۷]. در همان سال با ترکیب دیگری از این پلیمر دیود شاتکی و همچنین دیود ناهمگن[2] ساخته شد. دیود ناهمگن از پلیمریزاسیون پی در پی دو ترکیب تیوفنی بر روی یک زیرلایه ایندیم- قلع‌اکسید ایجاد شد. دیودهای شاتکی تهیه شده از این ترکیبات یکسوکنندگی کمی نشان می‌دهد در حالی که دیود ناهمگن بین دو الکترود فلزی بدون توجه به تابع کارشان یکسوکنندگی بالایی نشان می‌دهد که این بیان کننده این مطلب است که نتایج مشاهده شده منحصراً به فصل مشترک پلیمر- پلیمر مربوط می‌شود. در این تحقیق جزئیات شارش حامل‌ها از دو نیم‌رسانای پلیمری دیود ناهمگن با ساختار مس/ پلیمر– پلیمر/ مس بررسی و توصیف شد و تمامی پارامترهای پیوندگاه دیود مذکور تعیین شد[۸].

---

[1] Lous
[2] heterojunction

در سال ۲۰۰۰ دیود شاتکی با استفاده از یکی از مشتقات تیوفن ساخته شد و فیلم نازک پلیمر بین دو الکترود فلزی پلاتین و تنگستن قرار داده شد. پس از اندازه‌گیری و بررسی مشخصه‌های الکتریکی دیود در دماهای مختلف تراز پلارونی نیم‌رسانا بوسیله اندازه‌گیری ظرفیت و رسانایی ویژه مورد ارزیابی قرار گرفت[۹]. همچنین با سنتز پلی‌تیوفن به روش پلیمریزاسیون پلاسمایی فیلم پلیمری بر روی زیرلایه تشکیل و خواص آن توسط سیلورشتین[۱] و همکارش در سال ۲۰۰۱ بررسی شد[۱۰].

ساکسنا[۲] و همکارش نیز در سال ۲۰۰۳ دیود شاتکی با استفاده از سنتز شیمیایی یک کوپلیمر متشکل از دو مشتق تیوفن و فلزات مختلف از جمله نقره، آلومینیم، قلع و ایندیم ساختند. فیلم پلیمری به وسیله لایه‌نشانی چرخان بر روی زیر لایه SnO_2 تهیه گردید و با اندازه‌گیری مشخصه‌های I-V و C-V ویژگی‌های الکتریکی این دیودها بررسی و پارامترهای پیوندگاه فلز/کوپلیمر محاسبه شد[۱۱]. در همان سال لیانگ[۳] مشتقی از پلی‌تیوفن را بوسیله پلیمر دیگری دوپه کرد و به روش لایه‌نشانی چرخان، دیود شاتکی با نیم‌رسانای نوع P ساخت و مشخصه‌های الکتریکی دیود در دمای اتاق بررسی و از تابع نورد اصلاح شده[۴] برای استخراج پارامترهای پیوندگاه استفاده شد[۱۲].

در سال ۲۰۰۴ عبدالله[۵] و همکارانش با استفاده از یکی از مشتقات تیوفن به صورت تک لایه با یک فلز با تابع کار کم یک اتصال شاتکی تهیه کردند و ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی آن را از طریق اندازه‌گیری مشخصه I-V دیود در تاریکی و روشنایی بررسی کردند. ساختار دیود به صورت آلومینیم/ پلیمر/ ایندیم- قلع‌اکسید با استفاده از گسیل ترمویونی مورد تحلیل قرار گرفت و با اعمال ولتاژ به این قطعه طیف نور گسیلی آن در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری و مشاهده شد

---

[1] Silverstein
[2] Saxena
[3] Liang
[4] Modidied Norde Function
[5] Abdolla

که قطعه در طول موج ۵۴۰ nm یک پیک می‌دهد. سپس پارامترهای دیود نورگسیل مذکور اندازه‌گیری و تحلیل شد[۱۳].

یکی دیگر از پلیمرهای رسانا که با آن انواع مختلف دیود و قطعات الکترونیکی ساخته شده پلی‌پیرول است که ابتدا در سال ۱۹۹۹ توسط نگوین[1] و همکارش به روش الکتروشیمیایی تهیه شد. سپس به وسیله آلاینده‌های مختلفی آلائیده شد تا به یک پلیمر آلی رسانا تبدیل شود. پس از آن ویژگی‌های الکتریکی پیوندگاه طلا / پلیمر مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای پیوندگاه محاسبه شد. نکته جالب در این مورد پاسخ سریع و برگشت‌پذیر مشخصه I-V اتصال شاتکی مذکور به گاز NO_x است. این پدیده با تغییر ارتفاع سد شاتکی و غلظت حامل‌های لایه پلیمری توضیح داده شد و توسط اندازه‌گیری مشخصه C-V تأیید شد[۱۴].

ابای[2] و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۰ دیود شاتکی با یکی از مشتقات این پلیمر ساختند و مشخصه‌های الکتریکی آن را در دمای اتاق اندازه‌گیری کردند و همچنین اثر روش تهیه پلیمر بر مشخصه‌های دیود مورد بررسی قرار گرفت[۱۵].

در سال ۲۰۰۱ ابتگیر[3] و همکارش دیودهای شاتکی با نیم‌رسانای آلی پلی‌پیرول ساختند که دارای ساختار طلا / پلیمر / ایندیم، آلومینیم بود. مشخصه‌های الکتریکی دیودها در دمای اتاق اندازه‌گیری شد و تحلیل داده‌ها به کمک تئوری گسیل ترمویونی صورت گرفت. گاف انرژی و تابع کار پلیمر تخمین زده شد[۱۶].

شارما[4] و همکارانش به پلی‌پیرول آلائیده ماده رنگی[5] اضافه کردند و با آن دیود نورگسیل تهیه کردند. فیلم پلیمر از طریق لایه‌نشانی چرخان بر روی زیر لایه ایندیم- قلع‌اکسید تهیه شد و سپس ویژگی‌های الکتریکی و فتوالکتریکی قطعه و اثر افزودن رنگ به پلیمر مورد بررسی قرار گرفت[۱۷].

---

[1] Nguyen
[2] Abay
[3] Abthagir
[4] Sharma
[5] Pyronine dye

کینگ[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۷ کوپلیمری از پیرول و ۳- الکیل پیرول[2] را سنتز کردند. کوپلیمر تهیه شده را که در حلال‌های آلی قابل حل بود بر روی فیلم نازک فلزی قالب زدند و با تفسیر طیف‌های UV-vis و IR ترازهای پلارونی و بای‌پلارونی پلیمر ارزیابی شدند[۱۸].

از دیگر پلیمرهای رسانا که در ساخت قطعات الکترونی به کار رفته و خواص آن بررسی شده پلیمر پلی‌آنیلین و مشتقات آن می‌باشد. برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ کامپوس[3] و همکارانش از این پلیمر برای ساخت دیود شاتکی استفاده کردند و فیلم نازک پلیمری با روش الکتروشیمیایی تهیه و آلائیده شد. پیوندگاه آلومینیم / پلیمر رفتار یکسوکننده نشان می‌داد که به عنوان حسگری برای آشکار کردن گاز متان مورد استفاده قرار گرفت. منحنی مشخصه‌های I-V و C-V مطالعه و وابستگی این مشخصه‌ها به میزان غلظت گاز متان و مدت زمان تماس قطعه با این گاز بررسی شد[۱۹].

در سال ۲۰۰۳ هوآنگ[4] و همکارانش با استفاده از دو ترکیب از مشتقات این پلیمر دیودهای شاتکی با ساختار آلومینیم/ پلیمر/ ایندیم- قلع‌اکسید ساختند. این قطعات هر دو رفتار یکسوکننده نشان دادند ولی پارامترهای عملکرد آن‌ها از جمله ولتاژ اتصال قطعه، ارتفاع سد و دانسیته جریان اشباع با هم متفاوت بودند و مشخصه‌های I-V این دو قطعه تفاوت آشکاری را نشان می‌داد. همچنین به کمک طیف سنجی UV-vis ویژگی‌های اپتیکی این پلیمرها مورد بررسی قرار گرفت[۲۰].

در سال ۲۰۰۴ تحقیقات بیشتری بر روی این پلیمر صورت گرفت و گوپتا[5] و همکارش با تهیه کامپوزیتی از آنیلین با پلی‌وینیل‌کلراید دیود شاتکی با ساختار ایندیم/ کامپوزیت پلیمری/ پلاتین ساختند. با اندازه‌گیری مشخصه الکتریکی دیود پارامترهای مختلف پیوندگاه تخمین زده شد و از بررسی منحنی C^{-2}-V حامل‌های بار در دمای اتاق و دمای بالاتر اندازه‌گیری شد. با مطالعه

---

[1] King
[2] 3-alkyl pyrrole
[3] Campos
[4] Huang
[5] Gupta

منحنی‌های امپدانس قطعه، مدار معادل دیود شاتکی ساخته شده تعیین شد[۲۱]. همچنین این افراد با ساخت دیود شاتکی دیگری با کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌استایرن[1]، و تحلیل منحنی مشخصه‌های دیود به این نتیجه رسیدند که از مواد کامپوزیتی نسبت به پلیمرهای خالص می‌توان دیودهای با کیفیت بهتر ساخت[۲۲]. در همان سال هوآنگ و همکارانش ترکیبی از مشتقات این پلیمر تهیه کردند و نوع آلاینده متفاوت به آن افزودند و دیودهای نورگسیلی با ساختار آلومینیم/ پلیمر/ ایندیم- قلع‌اکسید ساختند. مقایسه بین پارامترهای پیوندگاه‌های مختلف با اندازه‌گیری مشخصه I-V صورت گرفت. ترازهای الکترونی پلیمر آلائیده بااستفاده از طیف سنجی UV-vis تعیین شد و با اندازه‌گیری امپدانس متناوب قطعه، مقادیر مقاومت حجمی، مقاومت لایه تهی و پهنای لایه تهی بدست آمد[۲۳]. این گروه در کار مشابهی پلی‌آنیلین را بوسیله دو آنیون متفاوت آلائیدند و از آن‌ها دیود شاتکی ساختند. با اندازه‌گیری و بررسی مشخصه‌های I-V و C-V تمامی پارامترهای پیوندگاه محاسبه شد و تفاوت بین این پارامترها بوسیله توانایی آلائیدن آنیون‌های مختلف، تحرک حامل‌های بار و مرفولوژی سطح فیلم‌ها تحلیل شد[۲۴]. سپس ابتگیر و همکارش با استفاده از یکی از مشتقات این پلیمر دیودهای شاتکی ساختند و با تغییر نوع فلز اثر تابع کار فلز بر مشخصه‌های دیود را بررسی کردند و نتایج آن را با مقادیر سایر دیودهایی که از پلی‌آنیلین و مشتقات آن ساخته شده مقایسه کردند. با استفاده از داده‌های C-V در فرکانس‌های مختلف تراکم و تحرک حامل‌های بار، پهنای ناحیه تهی، پتانسیل اتصال و تابع کار پلیمر تخمین زده شد[۲۵].

اما دیگر پلیمر رسانا که تحقیقات زیادی بر روی آن انجام گرفته و برای ساخت قطعات الکترونیکی از آن استفاده شده است پلیمر پلی‌فنیلن‌وینیلن می‌باشد. در سال ۲۰۰۴ موزهو[2] و همکارانش با استفاده از این پلیمر دیود شاتکی ساختند و مشخصه‌های الکتریکی آن را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از مدل جریان محدود به بار- فضا (SCLC) میزان تحرک حفره‌ها را اندازه‌گیری کردند و اثر ضخامت لایه پلیمری بر منحنی مشخصه دیود شاتکی با ساختار آلومینیم/ پلیمر/ ایندیم-قلع‌اکسید بررسی و نتیجه گرفته شد که هر چه ضخامت لایه

[1] polystyrene
[2] Mo Zho