

الکترونیک مولکولی

نوشته: دکتر غلامرضا قاضی مقدم

— عضویات علمی دانشگاه تهران

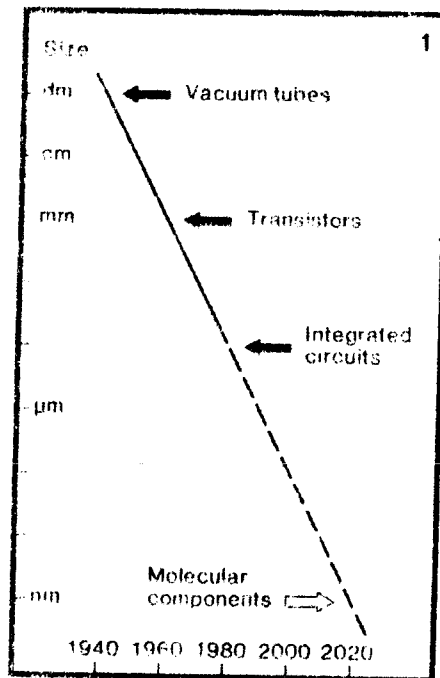
چکیده:

در سالهای اخیر ابعاد و اندازه قطعات در صنعت الکترونیک همواره روبه کاهش بوده و اکنون این قطعات از ابزارهای ذره‌بینی محسوب می‌شوند. امروزه معلوم شده است که مولکولهای تنها نیز بسیاری از ویژگیهای مورد نیاز در الکترونیک را دارا هستند و رشته جدیدی به نام الکترونیک مولکولی به وجود آمده است، که در آن از مواد مولکولی برای کاربردهای الکترونیکی استفاده می‌کنند. با این مواد مولکولی می‌توان ابزارهای الکترونیکی را کاملتر کرد، و ساختن وسایلی نوینی را توصیه کرد. همچنین در این رشته شناختن یا ساختن ترکیبات جدیدی که خواص الکترونیکی جالب دارند مورد توجه است.

مفهوم واژه الکترونیک در چند دهه گذشته همواره در تغییر بوده است. در چهل سال پیش این اصطلاح با "لوله‌های خلاء" مترادف بوده است. این لوله‌ها، قطعات شیشه‌ای تخلیه شده از هوا بودند که درون آنها الکترونها منبعت از یک رشته فلزی فروزنده به توسط میدانهای الکتریکی متغیر، که بر شبکه یا الکترودها اعمال می‌شوند، به جنبش درمی‌آمدند. این قطعات الکترونیکی نسبتاً بزرگ بودند و طول آنها به ده سانتیمتر می‌رسید. این وسایل شکننده بودند، مصرف انرژی برق در آنها زیاد بود و راه افتادن آنها به‌کندی صورت می‌گرفت.

در بیست سال پیش واژه الکترونیک مترادف بود با "قطعات الکترونیک حالت جامد" قطعات الکترونیکی عبارت بودند از ترانزیستورهای که از نیمه رساناها ساخته شده بودند. این نیمه رساناها به روشهای گوناگون، با افزودن ناخالصی‌های مختلف به ژرمانیوم یا سیلیسیم بسیار خالص "ریزیده" *doped* شده بودند. با این افزایش، انبوهی از الکترونها آزاد (یا از جفره‌ها با بار مخالف) به وجود می‌آمد که در میدان الکتریکی داخلی یا خارجی به حرکت درمی‌آمدند. این قطعات از لوله‌های خلاء کوچکتر بودند. درازای آنها در حدود یک میلیمتر بود، شکننده نبودند، مصرف انرژی در آنها زیاد نبود، و کار آنها سریعتر انجام می‌گرفت. با این

قطعات جدید رشته الکترونیک شتابان پیشرفت و به تدریج کامپیوترها و حسابگرها به بازار آمدند و زندگی بشر را، بویژه در ربع چهارم سده بیستم میلادی، دگرگون کردند. امروزه منظور از واژه الکترونیک در حقیقت همان میکروالکترونیک است. حالت جامد هنوز مورد بهره‌برداری است، ولی دیگر قطعات را به‌طور جداگانه نمی‌سازند تا بعداً آنها را به همدیگر وصل کنند، بلکه همه قطعات را روی یک پولک از سیلیسیم متبلور به صورت مدار یک پارچه یا مدار یک پار *IC, Integrated Circuit* فراهم می‌آورند. چنین پولک سیلیسیم را در صنعت *Chip* یا تراشه می‌نامند. در روش نوین "یکپارگی به مقیاس وسیع" *VLSI* مقدارهایی می‌سازند که هر قطعه فقط ده میکرومتر یا ده میکرون طول دارد (میکرومتر یا 10^{-6} متر یا 10^{-3} میلیمتر یعنی یک میکرون است). در سیستم *SI* امروزه به جای میکرون باید میکرومتر گفته شود). در این مدارهای بسیار کوچک جریان برق مسافت کوتاهتری می‌پیماید و پاسخ دهی دستگاه آنی است. در سایه این پیشرفت‌ها اکنون تعداد بیشماری از بازیه‌ها کامپیوتری و میکرو کامپیوترها در بازار خودنمایی می‌کنند و هزینه حقیقی محاسبه ریاضی بسیار پائین آمده است. اگر نمایش تغییرات لگاریتم طول یک قطعه را بر حسب تاریخ سال رسم کنیم یک خط مستقیم به دست می‌آید مطابق شکل ۱



شکل ۱ منحنی تغییرات ابعاد و قطعات الکترونیک بر حسب زمان

از "نمایش بلور مایع" LCD یعنی نمایش اعداد و حروف نورانی در برده‌های دستگاه‌های الکترونیک، آغاز شد. ایس شیوه‌شان دادن علائم و پیامها (سیگنالها) امروزه در ساعت‌های الکترونیک، ماشین‌های محاسبه و اسباب بازی‌های الکترونیک بسیار متداول است، و با انرژی الکتریکی ناچیزی می‌توان راستای مولکول‌های آلی (بلورهای مایع) را دوباره تغییر داده آنها را برای بازتاب جذب نوری که به آنها می‌رسد آماده کرد (ماء خدا). در برخی موارد LCD حتی جانشین دیودهای نور دهنده (LED) که قدرت الکتریکی بیشتری برای انتشار نور لازم دارند شده است (LED در واژه نامه شرح داده شده است).

Lehmann دانشمند آلمانی در سال ۱۸۸۹ اجسامی را کشف کرد که مانند مایعات سیال بودند ولی مانند بلورها خاصیت ناسانگردی (آنیزوتروپی) نشان می‌دادند. وی آنها را بلور مایع نامید. اینها از مواد آلی بوده مولکول‌های دراز و استوار داشتند. جامد پس از ذوب شدن، فاز مایع ناسانگرد تولید می‌کرد که دردها‌های بالا به مایع سانگرد، مانند مایعات معمولی مبدل می‌شد. در فاز مایع، مولکول‌های سوزنی شکل به موازات یکدیگر حرکت می‌کنند.

پس از گذشت چند سال معلوم شد که از خواص ناسانگرد بلورهای مایع می‌توان در نمایش نورانی حروف یعنی روش LCD بهره‌مند شد.

جسمی که بلور مایع به شمار می‌آید غالب اوقات از

با توجه به این خط مستقیم می‌توان نتیجه گرفت که در پیرامون سال ۲۰۲۰ میلادی بزرگی قطعات تا حدود نانومتر یعنی 10^{-9} متر (مساوی ده انگستر) کاهش خواهد یافت. یعنی مولکول‌های تنها که ابعاد آنها در حدود یک یا دو نانومتر است. قطعات الکترونیکی به شمار خواهند آمد. این استدلال ریاضی از روی برون‌یابی و ادامه منحنی ممکن است در عمل درست در نیاید و آینده صنعت الکترونیک با این پیشگویی مطابق نباشد، ولی گردانندگان و طراحان رشته‌های الکترونیکی این "برون‌یابی" را بسیار جدی تلقی می‌کنند.

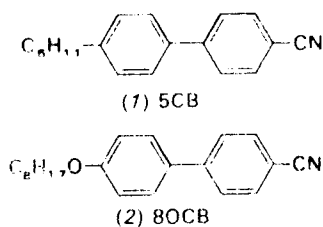
در حقیقت رشته‌های الکترونیک مولکولی "میان پیشه‌ای" می‌باشد، یعنی از دانش‌های گوناگون مانند فیزیک و شیمی و زیست‌شناسی و علم مواد و مهندسی برق و الکترونیک بهره می‌جوید. در این رشته جدید واژه‌های نوینی به کار می‌رود و ما برابرهای فارسی و تعریف برخی از اصطلاحات دشوار را به صورت یک واژه‌نامه در آخرمقاله آورده‌ایم و پاره‌ای از واژه‌های فارسی پیشنهادی هستند.

اینک بخش‌های برجسته الکترونیک مولکولی را به ترتیب تاریخ پیدایش به اجمال از نظر می‌گذرانیم.

۱ - بلورهای مایع

نخستین پیشرفت در الکترونیک مولکولی با استفاده

خالص می باشد منطقه وجود فاز مایع گسترده ترمی شمسود (ماءخذ ۲). مثلا " می توان از مخلوط دو جسم سیانوبی فنیل 5CB (فرمول ۱) و سیانوبی فنیل 80CB (فرمول استفاده کرد.



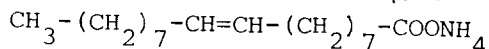
شکل ۲ نمودار تعادل فازها را برای این دو سازنده نمایش می دهد. محور طول درصد وزنی سیانوبی فنیل 80CB و محور عرض دمای سلزیوس است. نقطه اتکتیک در غلظت ۳۵/۶٪ وزنی از جسم دوم و در دمای ۶/۳°C است. دیده می شود که مخلوطی به این غلظت از ۶/۳°C تا ۵۰/۸ سلزیوس به حالت مایع نماتیک در می آید و در دمای بالاتر سانگرد می شود.

حالات فیزیکی زیر عبور می کند:

- ۱ - حالت بلوری
- ۲ - حالت سمکتیک smectic که در آن ناسانگردی بیشتر از حالت نماتیک است و حرکات مولکولهای دراز روی صفحات موازی که فاصله مابین آنها در حدود ۵ نانومتر است انجام می گیرد.
- ۳ - حالت نماتیک nematic که در آن مولکولهای سوزنی شکل به موازات یکدیگر حرکت می کنند ولی لایه های موازی از میان رفته است.
- ۴ - حالت مایع سانگرد یا مایع معمولی که در آن ضریب شکست در تمام راستاها یکسان است.

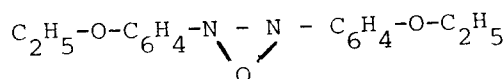
نخستین بلورهای مایع به قرار زیر بوده اند:

۱ - اولئات آمونیوم



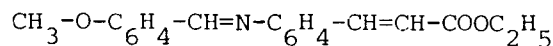
که پی در پی به حالت جامد، حالت مایع سانگرد در می آید.

۲ - پارا آزوکسی فنمتول Para-azoxy-Phenetol



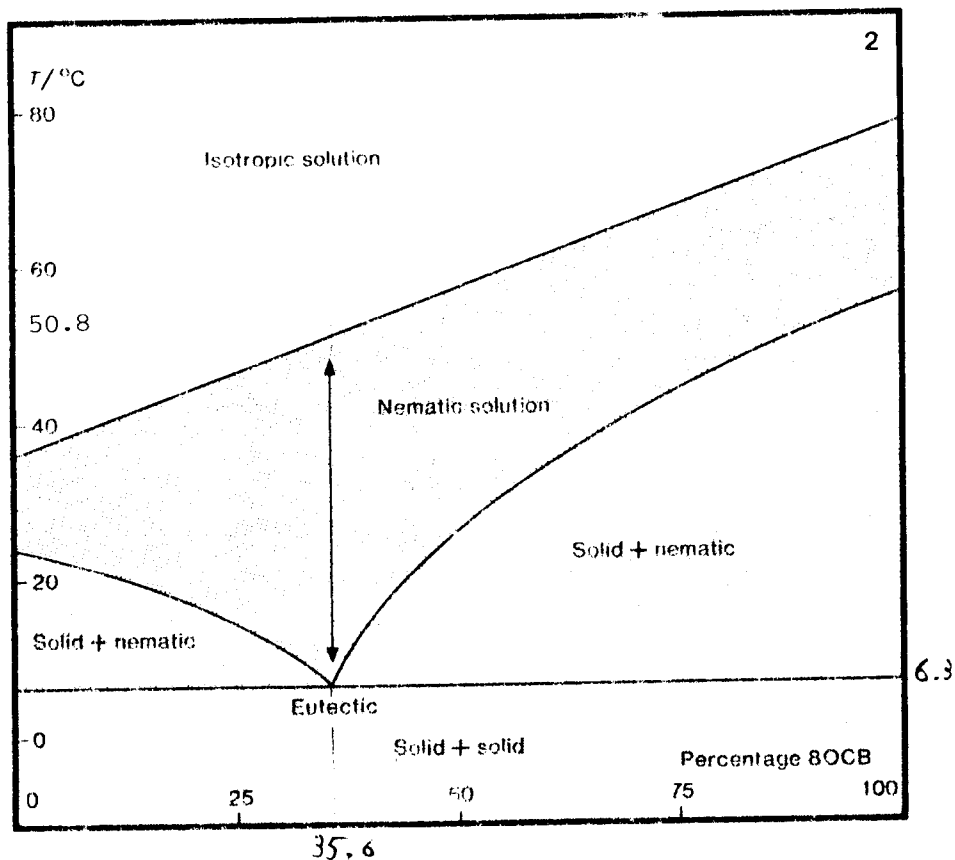
که در دمای ۱۱۶°C از حالت متبلور به صورت نماتیک در می آید و در ۱۶۵°C ذوب می شود.

۳ - آنیزال آمینوسیاناماتیل که از مشتقات آلدهید آنیزیک می باشد:



این جسم در ۱۰۸°C از حالت بلور به حالت سمکتیک در می آید و در ۱۱۷°C نماتیک می شود و در ۱۳۸°C مایع معمولی است. موضوع مهم اینست که این مولکولهای طویل باید در برابر گرما و نور پایدار باشند و این پایداری را باید شیمی دان تحقیق کند.

مطلب دیگر اینست که باید فاز حاصل در فواصل وسیعی از دما و فشار در نزدیکی دمای متعارفی به حالت مایع باقی بماند. بدین منظور مخلوط دو بلور مایع را به کار می برند که چون نقطه اتکتیک سیستم جدید پائین تر از نقاط ذوب سازنده های



شکل ۲ نمودار فازها برای مخلوط دوسیانوبی فنیل در فشار متعارفی

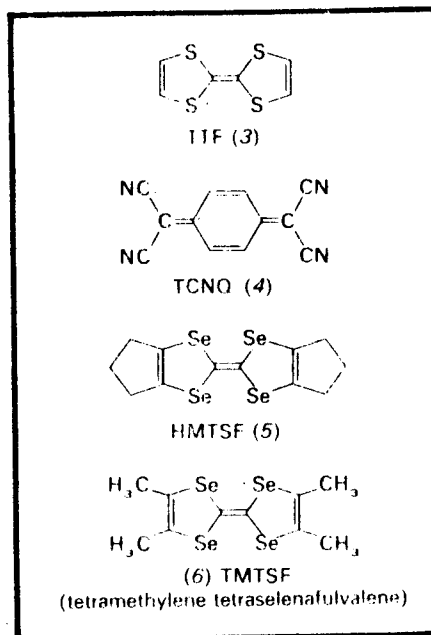
وجود دارد و TCNQ کمبود الکترونی دارد. از اینرو بین این دو مولکول انتقال بار صورت گرفته با هم ترکیب می شوند، و جسم حاصل را "ترکیب با انتقال بار" می نامند که شباهتی با نمکها دارد.

در حدود نیمی از LCD ها که امروزه به کار می رود از این سیستم استفاده می کند و این دو ترکیب آلی را مخصوصاً " و برای این هدف از راه سنتز تهیه کرده اند.

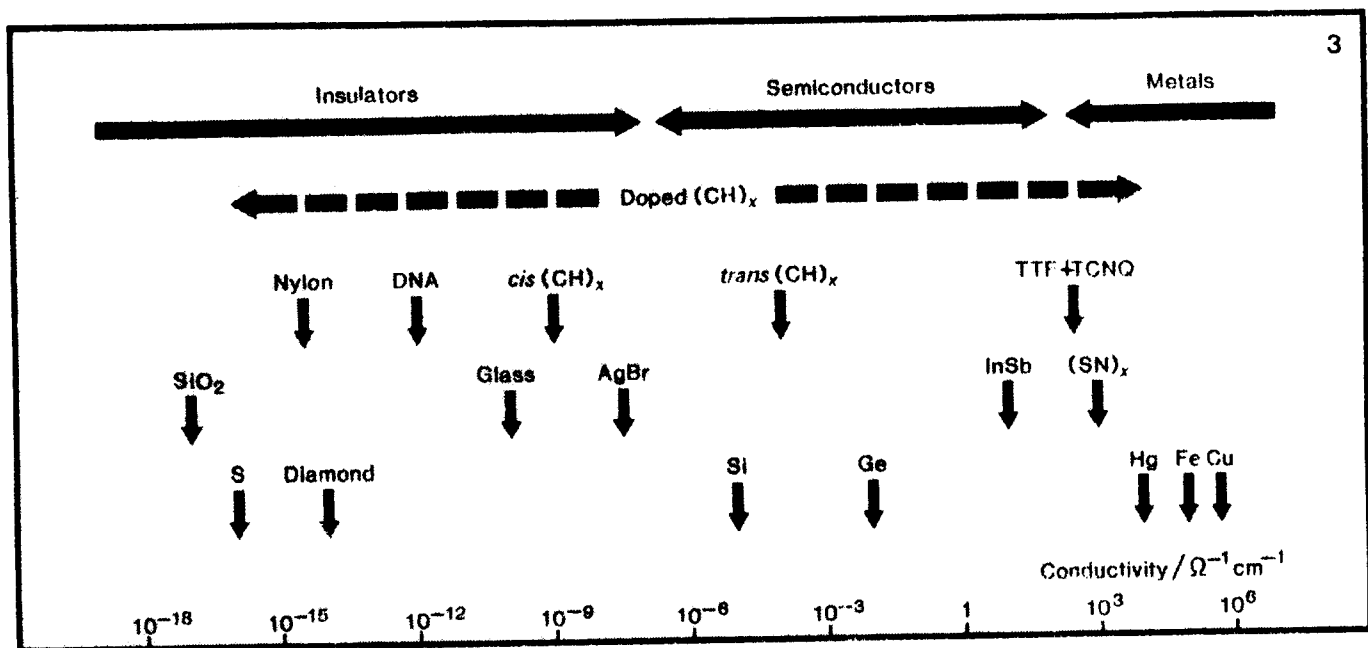
۲- فلزات مصنوعی (ماخذ ۳)

گروه دیگری از مواد مولکولی که ممکن است در الکترونیک کاربردهائی پیدا کنند فلزات مصنوعی یا فلزات سنتزی Synmetals هستند. اینها بیشتر اوقات ترکیبات کاملاً آلی هستند که اتمهای فلزی در آنها وجود ندارند (مراجع ۵، ۴ و ۶) مانند اجسام حاصل از ترکیب تتراپتیا فولوالسن TTF (فرمول ۲) و تتراسیانوکینودی متان TCNQ (فرمول ۴) و همدیف های آنها. در ساختمان مولکول TTF الکترون اضافی

می دانیم که در بلور فلزات ترازهای الکترونی آنها پهن تر شده تبدیل به نوارهای انرژی می شوند. رسانایی الکتریکی فلز بسته به اینست که آیا نوارهای رسانایی خالی در اختیار الکترونها قرار می گیرد یا نه؟ پس وجود نوارهای نیمه پرویا همپوشانی بین نوارها خاصیت هدایت الکتریسیته را در فلزات ایجاد می کند (مأخذ ۷ - رئیس شیری - ملاردی - شیمی معدنی - جلد دوم - ۱۳۶۲ - صفحات ۶۴۵ تا ۶۵۳). این هدایت با افزایش دما کاهش می یابد زیرا با شدید شدن ارتعاشات حرارتی ذرات شبکه بلور مانع عبور الکترونها می شوند. اکنون می گوئیم که TTF مایل است یک الکترون از دست بدهد و TCNQ تمایل دارد یک الکترون بگیرد و یونهای حاصل به علت رزونانس پایدارتر شوند. در جسم مرکب TTF + TCNQ این دو گرایش با انتقال نیم الکترون به طور میانگین از اولی به دومی برآورده می شود و نوارهای نیمه پری به وجود می آیند. آزمایش نشان می دهد که جسم حاصل هدایت ویژه ای در حدود $\frac{1}{1000 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}}$ دارد که با رسانایی ویژه فلزاتی مانند جیوه که هدایت متوسطی دارد قابل مقایسه است (شکل ۳).



فرمولهای : ۳، ۴، ۵ و ۶



مقایسه هدایت ویژه مواد مختلف

شکل ۳

۳- پولیمرهای رسانا

نمکهای مانند $TTF+TCNQ$ مولکولهای درازی هستند جدا از یکدیگر که اثرات جاذبه طولی میان آنها کم است. از این رو می توان آنها راهادیهای یک بعدی پنداشت. ولی اگر پولیمرهایی را که همدیسی زنجیری دارند در نظر آوریم نزدیکی خواص با بلور یک بعدی حقیقی بیشتر است.

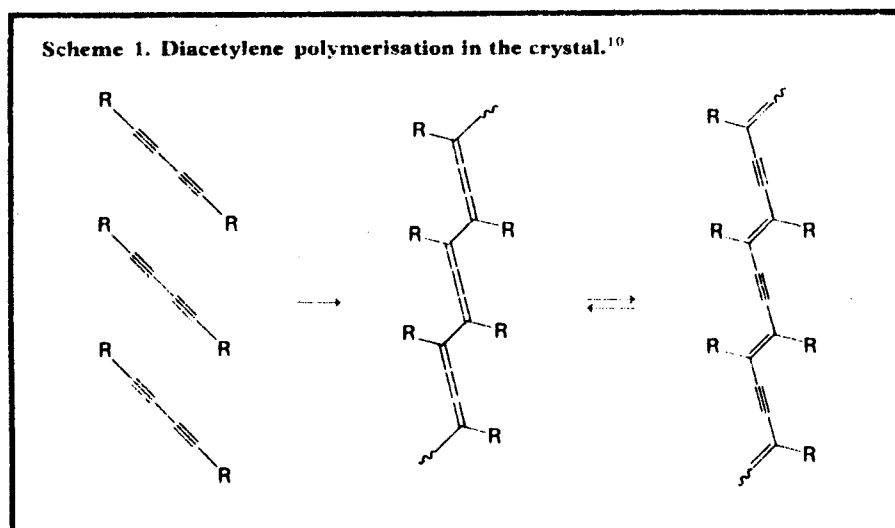
مثال خوبی از این پولیمرها، پولی (نیتريد گوگرد) یا پولی (تيازيل) به فرمول $(SN)_x$ می باشد. در این جسم اتمهای S و N مانند مولکولهای TTF و TCNQ عمل می کنند (دهنده و گیرنده الکترون). این پولیمر به شکل زنجیر منکسر (زیگزاگ) می باشد که در آن بین دو ساختمان $S(II)$ و $S(IV)$ رزونانس ایجاد می شود و طول بندها یکسان است. پس در این ساختمان الکترونها بی جا موجوداند بلورهای این جسم به رنگ برنج و به شکل الیاف می باشند ولی لایه های نازک آن آبی رنگ است. دیده می شود که $(SN)_x$ تا حدودی ویژگی فلزی دارد و در فشار معمولی در حوالی ۳/۵ درجه کلوین ابررسانا می شود. با وجود همه اینها اثرات جاذبه بین زنجیرها ناچیز نبوده و نمی توان این جسم را یک بعدی کامل فرض کرد (مآخذ ۹)

نزدیکی بیشتر به ساختمان یک بعدی نزدی پولی دی استیلن ها مشاهده می شود. فرمول دی استیلن ها $R-C\equiv C-C\equiv C-R'$ بوده و پس از پولیمریزاسیون پولی دی استیلن تک بلوری می دهند (شکل ۴ - مآخذ ۱۰)

در دماهای پایین رفتار ترکیبات "انتقال بار" متنوع است. بیشتر آنها در سرما عایق هستند ولی برخی از آنها حتی در دماهای نزدیک صفر مطلق رسانای الکتریسیته هستند. مثلا "اگر HMTSF (هگزا متیلن تتراسلنا فولوالن فرمول ۵) را که همدیفر TTF است در نظر بگیریم و جسم مرکب حاصل با TCNQ یعنی $HMTSF+TCNQ$ را در مورد خواص الکتریکی بررسی کنیم دیده خواهد شد که تا پائین ترین دمای قابل حصول حالت فلزی خود را حفظ می کند. همچنین مشاهده شده است که نمکهایی به فرمول $(TMTSF)_2X$ (فرمول ۶) که آنها را از راه الکتروشیمی تهیه می کنند در دماهای پایین تر از $1/3^{\circ}K$ ابررسانا شده هر گونه مقاومت الکتریکی را از دست می دهند (در فشارهایی پیرامون ده هزار اتمسفر). در این نمکها x نمایش آنیون یک ظرفیتی است با ساختمان هشت رخی مانند PF_6^- و TaF_6^- (فلوئوتانتالات). چنین بنظر می رسد که شاید بتوان اثر فشار روی این ترکیبات را با بکار بردن یک آنیون چهار رخی که کوچکتر است مانند ClO_4^- جبران کرد. در حقیقت نمک $(TMTSF)_2ClO_4$ در فشار معمولی در دمای $1/4^{\circ}K$ ابررسانا می شود (مآخذ ۸) ولی می توان بخشی از این هدایت را به بی نظمی آنیونها در شبکه بلور نسبت داد.

چند سال است که محله علمی نوین زیرین به فلزات مصنوعی تخیص یافته و در حال گسترش است:

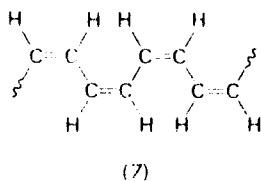
"Synthetic Metals", Lausanne, Elsevier.



شکل ۴ - پولیمریزاسیون دی استیلن در بلور

تئوریک می توان گفت که اگر این بلورها با ناخالصی مناسبی رزیده شوند رسانایی کافی کسب خواهند کرده ولی تاکنون با این افزایشها در عمل هدایت چشمگیری بدست نیامده است (ماء خذ ۱۱).

گویا بتوان گفت که ساده ترین پولیمر مزدوج پولی استیلن $[-CH=CH-]_n$ یا $(CH)_x$ می باشد. واحد تکراری CH دارای الکترون فرد بوده از نظر ساختمان الکترونی شبیه NO یا SN می باشد. پولی استیلن را می توان به شکل زنجیرهای مستقیم از پولیمریزاسیون استیلن تهیه کرد. مثلا "به روش کاتالیز زیگلر - ناتا Ziegler - Natta" ولی ایزومر سیس (فرمول ۷) که در دماهای پائین به دست می آید در دماهای بالا به ایزومر ترانس مبدل می شود (فرمول ۸ - مرجع ۱۲).



پرکلراتها یا کاتیونهای آمونیوم چهار تایی. این باتریها بسیار سبک بوده سطح آزاد الکترون در آنها وسیع است زیرا این پولیمر به پیکرالیاف است ولی باید هوا را تخلیه و ظرف را مسدود کرد زیرا اکسیژن سبب بد شدن خواص و فروپاشی پولیمر می شود.

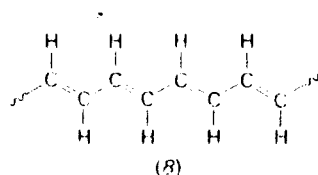
دشواری دیگر پولی استیلن اینست که به صورت فیلم نمی توان آنرا به اشکال مناسب درآورد. روش معمولی برای تهیه فیلمها اینست که سطوح مورد نظر را با کاتالیزور به حالت محلول آغشته کرده، سپس در معرض گاز استیلن قرار می دهند. ولی طرق دیگری نیز برای تهیه این فیلمها تحت بررسی است. در چند سال گذشته پولیمرهای دیگری برای کاربردهای الکترونیکی مورد بررسی و پژوهش دقیق بوده اند. اینها از پولی استیلن شکل پذیرتر هستند ولی پس از رزیدن هدایت الکتریکی هیچکدام به اندازه کافی نرسیده است. انواع مهم این پولیمرها به قرار زیراند:

پولی پارافنیلن (فرمول ۹ - شکل ۵)

پولی (سولفورپارافنیلن)

تمایل به پولیمر شدن بستگی به جنس گروههای R و R' دارد. برخی از دی استیلن ها همیشه به شکل پولیمر در می آیند. برخی دیگر در اثر گرما یا نور پولیمریزه می شوند. بعضی دیگر اصلا "پولیمر نمی شوند". این اختلافات را می توان از روی حرکات لازم برای تشکیل زنجیر یک بعدی در شبکه بلور توجیه کرد و هر قدر این حرکات کوچکتر باشند پولیمر - یزاسیون آسانتر است (ماء خذ ۱۰).

پولیمر حاصل ممکن است به شکل تک بلورهای زنجیری با تکامل بسیار باشد که هر زنجیر از هزاران واحد درست شده است. از این رو این بلورها بسیار ناسانگرد بوده و در برخی رخوا دارای جلای فلزی هستند. متأسفانه این جلای فلزی همراه با رسانائی الکتریکی نمی باشد. از روی ملاحظات



هر دو پولیمر بی اثر هستند ولی با افزایش رزنده ها هدایت الکتریکی چند صد برابر می شود و جسم از حالت یک عایق معمولی به صورت یک فلز با هدایت متوسط در می آید رزنده های بکار رفته عبارتند از هالوژنها، AsF_5 ، اسید سولفوریک و اسید پرکلریک، که همه گیرنده الکترون هستند پولیمر را اکسیده می کنند و نیز فلزات قلیائی که دهنده الکترون هستند پولیمر را احیا می کنند. بدین ترتیب موادی از نوع p و یا از نوع n بدست می آیند که با نیمه رساناهای معمولی قابل مقایسه هستند. برای اینها کاربردهای زیادی را می توان در نظر گرفت بویژه در تهیه ابزارهای نوتولتائیک که در آنها شکاف نواری $band\ gap$ پولی استیلن بر طول موج انرژی ماکزیم طیف خورشیدی منطبق است.

یک پیشرفت جالب در این زمینه رزیدن یعنی افزودن ناخالصیهای مناسب به روش الکتروشیمیایی است که بسیار باکیزه و قابل کنترل می باشد. همچنین این روش برگشت پذیر یا بازگشتنی می باشد. از این رو پولی استیلنی که از راه الکتروشیمیائی رزیده شده می تواند برای ساختن یک باتری قابل شارژ به کار رود (مرجع ۱۴)، و رزنده های لازم عبارتند از

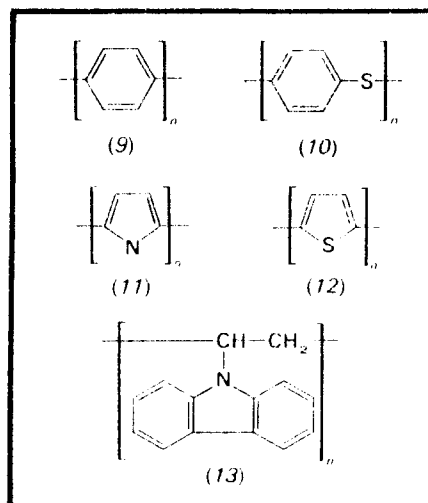
تولید شده از تابش نور بتوانند از میان فیلم پولیمر بگذرند و قبل از عبور گرفتاریا بی حرکت نشوند (ماخذهای ۱۹، ۲۰ و ۲۱)

۴ - فیلمهای لنگمیوتر - بلاجت Langmuir-Blodgett
بخش مهمی از الکترونیک امروزی را فیلمهای نازک و بهره‌مندی از آنها به عنوان لایه‌های عایق تشکیل می‌دهد. مثلاً "قشر اکسید سیلیسیوم SiO_2 بر رویه فلز سیلیسیوم Si که در اثر گاز اکسیژن در دما و فشار مناسب به دست می‌آید یک لایه نارسا ایجاد می‌کند. ولی قشر حاصل یکنواخت نیست و این اکسیداسیون را به "انداختن اتمهای اکسیژن بر سطح سیلیسیوم" تشبیه کرده‌اند. یعنی نقاط خالی و نقایص زیاد است و باید ضخامت فیلم زیاد باشد تا پوشش عایقی به دست آید.

با استفاده از فیلمهای لنگمیوتر - بلاجت که لایه‌های تک مولکولی هستند (ماخذهای ۲۲ و ۲۳) امکانات جدیدی پیش آمده است. این فیلمها را از عوامل رویه فعال Surface-active agents تهیه می‌کنند. اینها شبیه ترکیباتی هستند که ماده موثر در شوینده‌های معمولی بوده و اجسام خارجی را در سطح آزاد محلول جذب می‌کنند. فیلمهای لنگمیوتر - بلاجت قشرهای تک مولکولی از مولکولهای دراز هستند که بر روی سطح فلزی یا شیشه‌ای می‌نشینند و با فروردن مکرر آن در محلول عوامل "رویه فعال" قشرهای چند لایه‌ای درست می‌کنند.

لایه‌های حاصل بسیار کامل هستند، یعنی هر چند متبلور بشمار نمی‌آیند ولی جاهای خالی و حفره‌ها در آنها دیده نمی‌شود و ستبرای لایه هم بخوبی معلوم است، و برابر است با طول مولکول. از این رو می‌توان این فیلمها را به عنوان لایه‌های عایق در الکترونیک بکار برد.

و نیز می‌توان ساختمان شیمیایی عوامل "رویه فعال" را ترمیم کرده کاربردهای نوینی برای فیلمهای لنگمیوتر - بلاجت در نظر گرفت. مثلاً "اگر دی‌استیلن و سایر مونومرهای قابل پولیمریزاسیون را وارد این مولکولها بکنیم می‌توانیم فیلمهایی تهیه کنیم که در برخی نقاط پولیمریزه و ثابت شوند و در بعضی نقاط دیگر حل شده از بین بروند. با این روش نوع جدیدی از مقاوم Resist برای ساختن مدارهای الکترونیک به دست می‌آید (تعریف مقاوم در واژه نامه آمده است). افزوده بر این می‌توان مجموعه‌های معطره فلوئورسان را وارد مولکول کرده فیلمها را برای نمایش نورانی اعداد و حروف (با LCD تفاوت دارد) آماده کرد.



شکل ۵ - پولیمرهای مهم در الکترونیک

(فرمول ۱۰ - شکل ۵ - مرجع ۱۵) - پولی (پیرول) (فرمول ۱۱ - شکل ۵ - مرجع ۱۶) - پولی تیوفن (فرمول ۱۲ - شکل ۵ - مرجع ۱۷).

در انتهای دیگر این رشته پولیمرهای کاملاً "عایق قرار دارند. برخی پولیمرها به هیچ وجه خواص الکتریکی از خود نشان نمی‌دهند بلکه به عنوان لایه‌های عایق کننده یا لایه‌های پوشاننده (لایه کاپسول ساز) به کار می‌روند. بهترین مثال این گروه پولی‌تترافلورو اتیلن PTFE (مانند تفلون) است.

گروه دیگر از پولیمرهای جالب آنها بی هستند که برای ساختن الکترت Electret به کار می‌روند. الکترت همتای الکتریکی ماگنت Magnet یا مغناطیس می‌باشد. الکترت باید نسبت به تغییرات میدان الکتریکی سریعاً "پاسخگو" باشد و حرکات الکترونی در آن بسیار محدود باشند و پس از حذف میدان الکتریکی، جریان پس نشستی leak-back Current نداشته باشد. این خاصیت نزد پولی (اوادی فلوئورواتیلن) یا پولی (فلوئورو وینیلین) یا PVF_2 و پولیمرهای همدریف آن موجود است (مرجع ۱۸) از این پولیمرها در ساختن سمعک، میکروفون و تراگذارهای دیگر Transducer بهره‌مند می‌شوند. در روش برق نگاری (الکتروگرافی) یا خشک نگاری Xerography برای تکثیر مدارک و اسناد پولیمرهای فوتورسانا مانند پولی (N - وینیل کاربازول) را می‌توان به کار برد (فرمول ۱۳). هر چند هدایت ویژه این پولیمر زیاد نیست ولی برای کاربردهای فوق کافی است به شرط اینکه الکترونیهای

در این روش اپتیکی قدرت تفکیک Resolving Power یعنی حد تشخیص دو طول موج نزدیک بهم که در حدود ابعاد مولکولها است در حالیکه در فیلمهای عکاسی معمولی درشتی دانه های نقره احیا شده عامل محدود کننده است و قدرت تفکیک را پائین می آورد.

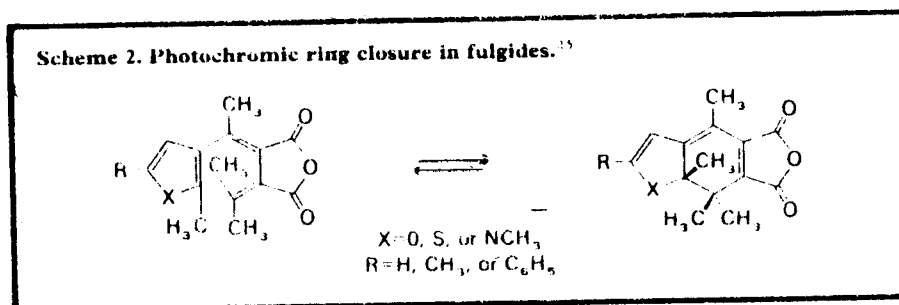
مزیت دیگر روش فوتوکرومیک اینست که تغییر رنگ در آن بطور آنی وبدون درنگ انجام می گیرد در حالیکه در روش عکاسی معمولی ظهور و ثبوت عکس زمان زیادی لازم دارد. این عامل زمانی اجازه می دهد که بلافاصله پس از نوشته شدن پیام (سیگنال) آن را بخوانیم و هرگونه اشتباه را تصحیح کنیم. از سوی دیگر چون می توان تغییر رنگ را با جذب نور در منطقه طیفی دیگر وارونه کرد تصحیح اشتباهات سریع است و نیز می توان اطلاعات را نوسازی Updating کرد.

باید بخاطر داشت که نباید در روش فوتوکرومیک اطلاعات ذخیره شده به علت بازگشت حرارتی واکنش فوتوشیمیایی با افزایش دما از بین رود یا تضعیف شود. گروهی از ترکیبات شیمیایی مانند Fulgide ها که برطبق قاعده های وودوارد - هوفمان Woodward-Hoffman در واکنش های تشکیل حلقه شرکت می کنند (شکل ۶ - مرجع ۲۵) برای این منظور مناسب هستند.

فیلمهای بسیار نازک مغناطیسی نیز در میکروالکترونیک نقش دارند. اینها را می توان به روش لنگمیوتر - بلاجت با استفاده از عوامل رویه فعال که یونهای مغناطیسی در بردارند مثلا "با محلول استارات منگنز (II) ایجاد کرد. همچنین در زمینه "اپتیک های یک پار" Integrated Optics نیز وظیفه مهمی برای این فیلمها پیش بینی می شود. زیرا برای ساختن IO ها روشهایی شبیه گل انداختن (بلومینگ) Blooming در عدسی های معمولی مورد نیاز است. گل انداختن نوعی مات کردن است که به کمک MgF_2 بر روی سطح صیقلی عدسی شیشه ای انجام می گیرد و با این عمل بازتابش نور کمتر شده عبور بیشتر می شود.

۵- رشته فوتوکرومیک

موضوع انباشتن اطلاعات به روش اپتیکی به جای طرق مغناطیسی و الکتریکی که فعلا "متداول می باشد توجه دانشمندان را در سالهای اخیر جلب کرده است. یک طریق برای ذخیره اطلاعات از راه اپتیکی اینست که مولکولهایی را به کار بریم که با جذب نور در منطقه طیفی مناسب رنگ خود را عوض کنند. این مبحث را بحث تغییر رنگ بر اثر نور Photochromics نامیده اند.



شکل ۶ بسته شدن فوتوکرومیک حلقه در فولزیدها

اطلاعات را به دست آورد که فقط با قدرت تفکیک سیستم اپتیکی به کار رفته محدود می شود.

یک روش جالب برای کم کردن این محدودیت این است که از مولکولهای جاذب نور در محیط بی نظم شده (مثلا "فاز محلول) استفاده کنیم. در چنین محیطی گروههای متفاوت مولکولها انرژی را در ترازهای اندکی متفاوت جذب می کنند و جذب کلی نور یک نیمرخ ناهمگون پیدا می کند. یک شعاع لیزر که پهنای طیفی آن یعنی نیمرخ آن باریکتر است فقط مولکولهایی را تحریک می کند که راستا و ترازهای جذبی آنها درست در همان

بسته و باز شدن حلقه در نتیجه جذب نور در طول موج مناسب به آسانی انجام می گیرد، زیرا تغییری در محور دوران مولکول نمی دهد. در حالی که در واکنش های حرارتی به علت محل مجموعه های متیلی و ممانعت فضایی محور دوران مولکول فرق می کند. از این رو این واکنش ها سرعت کافی ندارند (مرجع ۲۵).

۶- انباشتن اطلاعات

با مواد فوتوکرومیک می توان چگالی بزرگی در ذخیره

پهنا باشد. با تنظیم بسامد لیزر می‌توان گروههای متفاوت مولکولها را که در یک منطقه تابشی مشترک هستند هدف قرار داد. بدین ترتیب بعد دیگری به نام بسامد بردخیره اطلاعاتی افزوده می‌شود و چگالی انباشت اطلاعات بالا می‌رود و این افزایش بستگی دارد به اینکه چند نیمرخ لیزری را بتوان در پهناهای طیفی جذب کلی جای داد.

مثالهایی که در شش مورد تا اینجا شرح داده شد بخوبی نشان می‌دهد که سیستم های مولکولی چه خواص الکترونیکی جالب و سودمندی را دارا هستند. مواد مولکولی نه تنها ویژگیهای مطلوب فیزیک حالت جامد را در بر دارند بلکه می‌توانند خواص الکترونی نوینی را در اختیار پژوهشگر قرار دهند.

اگر بخواهیم مولکولهای تنها را به عنوان قطعات الکترونیکی بکار ببریم باید در فکر سوار کردن و نصب کردن آنها پهلوی یکدیگر نیز باشیم. قابل تصور نیست که بتوانیم در این باره نوعی جراحی مولکولی *Microsurgery* را به کار گرفته مولکولها را بهم بچسبانیم یا آنها را ببریم. ولی در این رهگذر نیز طبیعت روش مناسبی را پیش پا می‌گذارد. دومین ساختمان DNA اسید دی‌اکسی‌ریبونوکلیک Deoxyribonucleic سازنده اصلی کروموزم ها و زنها در هسته یاخته هستند که ساختمان حلزونی مضاعف دارند و خود - به - خود نصب نشده‌اند بلکه نتیجه ای از نخستین ساختمان DNA می‌باشند. در نخستین ساختمان DNA یک زنجیر پولیمیر حاصل می‌شود. سپس پیوندهای تیدروژنی بین اتمهای تیدروژن و اکسیژن نیز تیدروژن و نیتروژن به کار می‌افتد همدیسی حلزونی درست می‌کنند. انرژی مولکول می‌نیموم می‌شود و دومین ساختمان پدید می‌آید.

به مقیاس کوچکتر می‌توان گفت که در بلورها نیز این مونتاز خودبخود مشهود است که غالب اوقات نقایصی نیز در بر دارد. از بررسی تاثیر گروههای جانبی در پولیمیر آسیون دی‌استیلها و تهیه و بررسی زنجیر پولی نوکلئوتیدها که با فعالیت بیولوژیک ویژه آنها ارتباط نزدیک دارد پیوسته آگاهیهایی در زمینه مونتاز و سوار کردن مولکولها و خواص مجموعه‌های حاصل به دست می‌آید.

۷ - پگفتار

حال از خود می‌پرسیم که در این پیشرفتهای رشته الکترونیک مولکولی وظیفه و نقش شیمیدان چگونه خواهد بود؟

می‌دانیم که الکترونیک سنتی حالت جامد و میکروالکترونیک با بهره‌مندی از چند عنصر و چند ترکیب غیر آلی ساده به هدفهای خود رسیده‌اند مانند Ge-Si و ترکیبات III-V مانند آرسنیورگالیم GaAs و ترکیبات II-II مانند سولفورگادمیوم CdS به اضافه چند رزنده و چند فلز هادی. متأسفانه تاکنون از مولکولهای آلی بیشمار که برخی از آنها ساختمان اتمی و الکترونی جالب دارند و یا از مولکولهایی که می‌توان به روشهای نوین شیمیایی بوجود آورد در صنعت الکترونیک بهره‌مندی نشده است (به استثنای چند مورد ساده مثلاً "تجزیه حرارتی ترکیبات آلی - فلزی فرار برای ساختن رسوبها و لایه های نیمه رسانا - ماخذ ۲۱).

الکترونیک مولکولی به ما نوید می‌دهد که با یارمندی این رشته می‌توانیم ابزارهای فعلی را کاملتر کنیم و ابزارهای نوینی عرضه بداریم. همچنین در این رشته تهیه و شناسایی جامدات یک بعدی کامل و دو بعدی کامل مورد توجه خواهد بود (ماخذ ۲۳).

شیمیدانهای الکترونیک در جستجوی ترکیباتی هستند که بهترین خواص الکترونی را از خود نشان دهند همان طور که زیست شناسان به دنبال مولکولهایی هستند که بهترین فعالیت بیولوژیک را دارا باشند (مانند آنزیم های مصنوعی یا آنزیم های ناشناخته) در این میدان پژوهش و کوشش برداشتمیدانی است که نیروی ابتکار و آفرینندگی او بیشتر باشد.

در پایان گفتار برای مطالعه بیشتر در خصوص الکترونیک مولکولی و یافتن منابع دیگر نخست مرجع شماره ۲۶ و سپس مرجع شماره ۲۸ را به خواننده عزیز توصیه می‌کنم واز استادان و همکاران محترم جناب آقای دکتر فرخ - فرحان و جناب آقای دکتر شفیقها که در پیشنهاد لغات مناسب و ویراستاری این مقاله لطف ویژه‌ای مبذول فرموده‌اند نهایت تشکر را دارم.

واژه نامه

Anisotropic	ناسانگرد
Band gap	نوار ممنوعه - شکاف نواری
Blooming	گل انداختن، نوعی مات کردن که به کمک MgF_2 بر روی سطح صیقلی عدسی انجام می‌گیرد و با این عمل بازتابش نور کمتر شده عبور بیشتر می‌شود.
Charge-transfer compound	ترکیب با انتقال بار
Chips	تراشه‌ها
Conformation	همدپسی
Conjugated	مزدوج
Degradation	فروپایگی - کاهش مرغوبیت
Detergents	شوینده‌ها
Delocalized electrons	الکترونهاى بی‌جا
Doping	رزیدن
	رزیدن یعنی افزودن ناخالصیهای ویژه برای بالا بردن رسانایی در تهیه اجسام نیمه رسانا Doping در عرف انگلیسی به مفهوم دواخور کردن و معتاد کردن است در حالی که افزایش ناخالصی یک مرحله اساسی در ساختن نیمه رسانا است. از این رو برابر فارسی و پیشنهادی این واژه را از رزیدن گرفته‌ایم که به معنی رنگ کردن است
Electret	الکترت
	عایقی که در برابر تغییرات میدان الکتریکی پاسخ گو می‌باشد (حرکات الکترونها در آن بسیار محدود است. همتای الکتریکی
Magnet	مغناطیس
Electroluminescence	نور تابش الکتریکی
Electronic components	قطعات الکترونیکی
Extrapolation	برونیبایی
Frequency	بسامد
Impulse	تپش
Incandescent	فروزنده
Integrated circuit, IC,	مداریک پارچه - مدار یک پار
Integrated optics, IO,	اپتیک یک پار
	IO سیستمی است برای شکافتن و آمیختن شعاع نور و نیز عملیات دیگر روی این شعاع که بر سطح یک زمینه و پایه واحدی انجام می‌گیرد همتای اپتیکی IC (مدار یک پار) .
Interdisciplinary	میان رشته‌ای
Interpolation	درونیبایی
Inhomogeneous	ناهمگون
Isotropic	سانگرد
Light emitting diode, LED,	دیود نور دهنده
Liquid crystal display, LCD,	نمایش با بلور مایع

Luminescence	تابناکی
Encapsulating layer	لایه پوشاننده - کاپسول ساز
Monolayer	لایه تک مولکولی
Multilayer	لایه چند مولکولی
Leak-back	پس نشست
Monomolecular	لایه تک مولکولی
Octahedral	هشت رخی
Profile	نیمرخ
Pulsation	تپش
Resist	مقاوم - ماندگار
رزیت قشری است که برای حفاظت برخی نقاط پولک نیمه رسانا جهت ساختن مدار یک پار (IC) بکار می رود و مثلاً "از خورده شدن زیر لایه اسیدی جلوگیری می کند .	
Resolving power	قدرت تفکیکی
Rigid	استوار
Screen	پرده
Signal	پیام - سیگنال
Super onductor	ابر رسانا
Surface-active	رویه فعال
Tetrahedral	چهار رخی
Vacuum tube	لوله خلاء
Wafer	پولک
Transducer	تراگذار
تراگذار ابزاری است که هرگونه تپش الکتریکی را به پیام الکتریکی مبدل می کند . این ابزارها برای اندازه گیری طول ، نیرو ، دما ، شدت نور و بکار می روند و امروزه بیشتر سنجشهای فیزیکی به روش الکتریکی انجام می گیرد .	
دیودنور دهنده LED - عبارت است از دو نیمه رسانا از انواع p n که بهم اتصال داده شده اند و یک اختلاف پتانسیل کافی سبب می شود که الکترونها و حفره ها به حرکت در آیند و در ناحیه تماس بین دو جسم با هم ترکیب شده انرژی نورانی منتشر کنند . این پدیده رانور تابش الکتریکی نیز می نامند .	

فهرست مراجع

1. I.A. Shanks, *Contemp.Phys*,1982.23,65.
2. G. Elliott, *Chem.Br.*,1973,9.213.
3. D.Bloor, *Chem. Br.*,1983,19, 725.
4. A.F. Garito and A.J.Heeger, *Accounts Chem.Res.*, 1974, 7, 232.
5. J.H. Perlstein, *Angew.Chem.Int.Ed. Engl.*, 1977, 16, 519.
6. J.B. Torrance, *Accounts Chem.Res.*, 1979, 12, 79.
7. رئیس‌ی شیری - ملاردی - "شیمی معدنی" جلد ۲ - ۱۳۶۲ - صفحات ۶۴۵ تا ۶۵۳
8. K.Bechgaard et al, *J.Am.Chem.Soc.*, 1981, 103, 2440.
9. M.M. Labes, P.Love and L.F. Nichols, *Chem.Rev.*, 1979,79,1.
10. R.H.Baughman, *J.Polym.Sci.Polym. Phys.Ed.*, 1974,12,1511.
11. K.J. Donovan and E.G. Wilson, *Phil. Mag.*, 1981, B44,9.
12. T.Ito, H.Shirakawa and S.Ikeda, *J. Polym. Sci.Polym.Chem.Edn.*,1975,13, 1943.
13. C.K.Chiang et al, *J.Chem.Phys.*,1978, 69,5098.
14. D.Maclnnes et al, *J.Chem.Soc., Chem. Commun.* 1981, 317.
15. *Chem. Br.*, 1983, 19, 635.
16. *Chem.Br.*, 1982, 18, 611.
17. R.H.Baughman et al, *Chem. Rev.*,1982, 82, 209.
18. J.M. Herbert, *Chem. Br.*, 1983, 19, 728.
19. I.Langmuir, *Trans. Faraday Soc.*, 1920, 15, 62; K.B. Blodgett, *J.Am. Chem. Soc.* 1934, 56, 495.
20. G.G. Roberts, *Thin Solid Films*, 1980, 68, 135.
21. *Proc. Int. Conf. Langmuir-Blodgett films, Thin Solid Films*, 1983, 99, parts 1-3.
22. J.Mort, *Science*, 1980, 208,819.
23. *Chem. Br.*, 1983. 19, 306.
24. *Chem. Br.*, 1983, 19, 376.
25. P.J.Darcy et al, *J. Chem. Soc. Perkin I*, 1981, 202.
26. *Molecular electronic devices*, F.L. Carter (ed). New York: Dekker,1982.
27. R.H. Moss, *Chem. Br.*, 1983, 19,733.
28. R.W. Munn, *Chem.Br.*,1984,20,518.

