بررسی، تحلیل و مقایسه انواع آشکارسازهای نوری مادون قرمز نزدیک مبتنی بر مواد معدنی و آلی (ارگانیک)

سمینار درس الکترونیک نوری

استاد: آقای دکتر محمد نژاد

دی ماه ۱۳۹۵

مقدمه ای بر مواد و آشکارساز های نوری مادون قرمز

- تفاوت عمده مواد آلی با مواد معدنی ⟵ در همه مواد آلی کربن وجود دارد و زنجیره ای از کربن اسکلت اصلی مولکولهای این مواد را می سازد.
- تابش فروسرخ یا مادون قرمز دارای طول موجی بین تقریباً ۷۵۰ نانومتر و ۱ میلی متر است.
- لازمه ی آشکارساز های نوری برای کاربردهای نوری NIR، سرعت بالا، پاسخ دهی بالا، جریان تاریک کم، ولتاژ بایاس کم و ابعاد کوچک است.

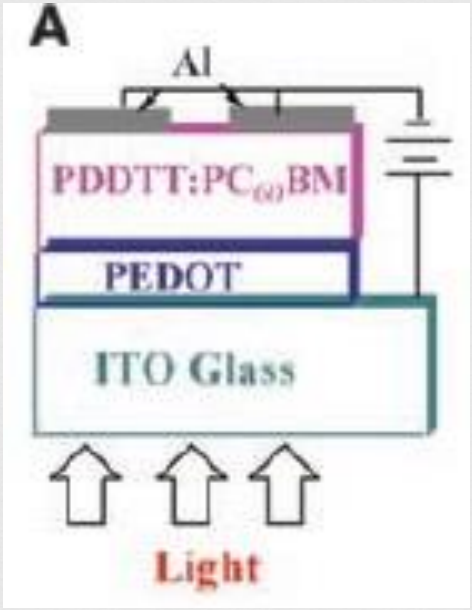
مواد به کار رفته در آشکارساز های نوری

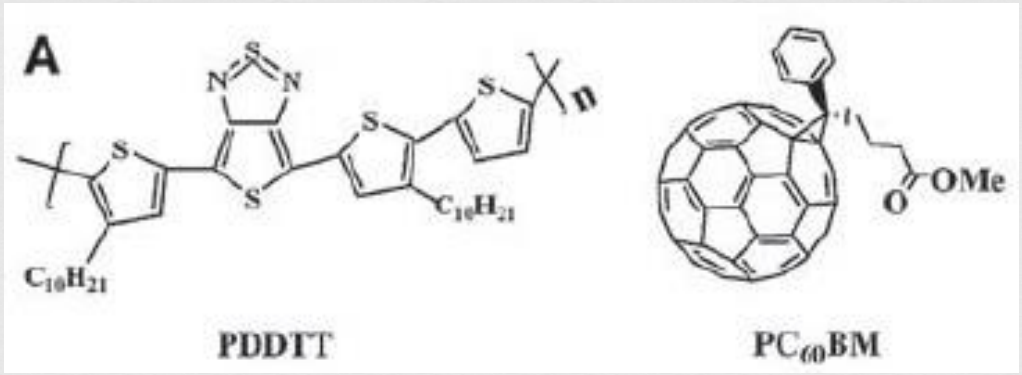
InGaAsP ،InGaAs ،GaAs ،Ge ،Si

- **آشکارساز های سیلیکونی**
- **آشکارساز های InGaAs**
- **آشکارساز های ارگانیک**

بررسی چند آشکار ساز نوری مادون قرمز نزدیک مبتنی بر مواد آلی و معدنی

- آشکارساز نوری پلیمری با لایه فعال ناهمگون بالک $PDDTT:PC_{60}BM$





(قابلیت آشکار سازی بالا)

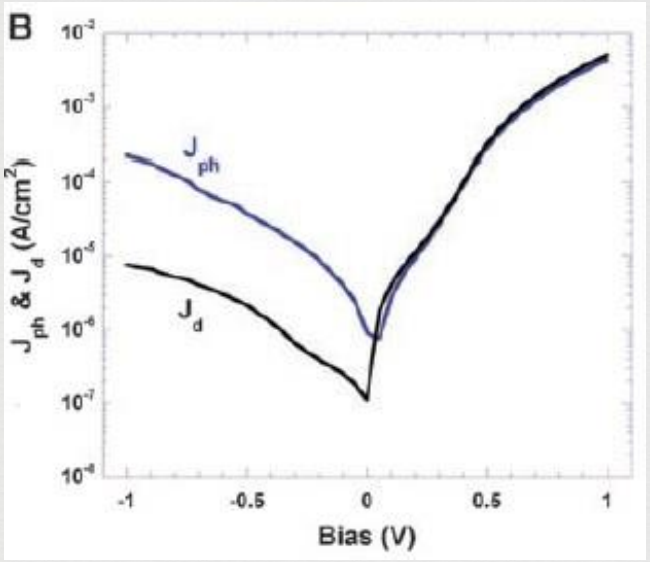
طیف پاسخدهی 900nm-400nm

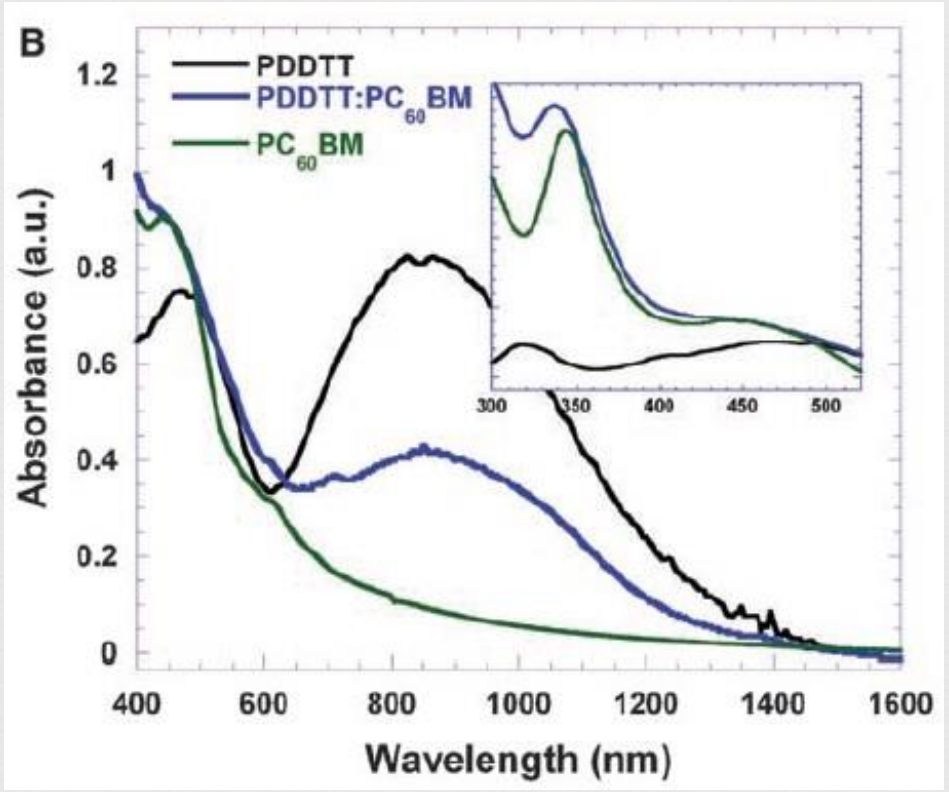
Xiong Gong *et al, Science* 325, 2009.

آشکارساز نوری پلیمری با لایه فعال ناهمگون بالک
$PDDTT:PC_{60}BM$

$R = J_{ph}/L_{light}$

پاسخ دهی جریان نوری





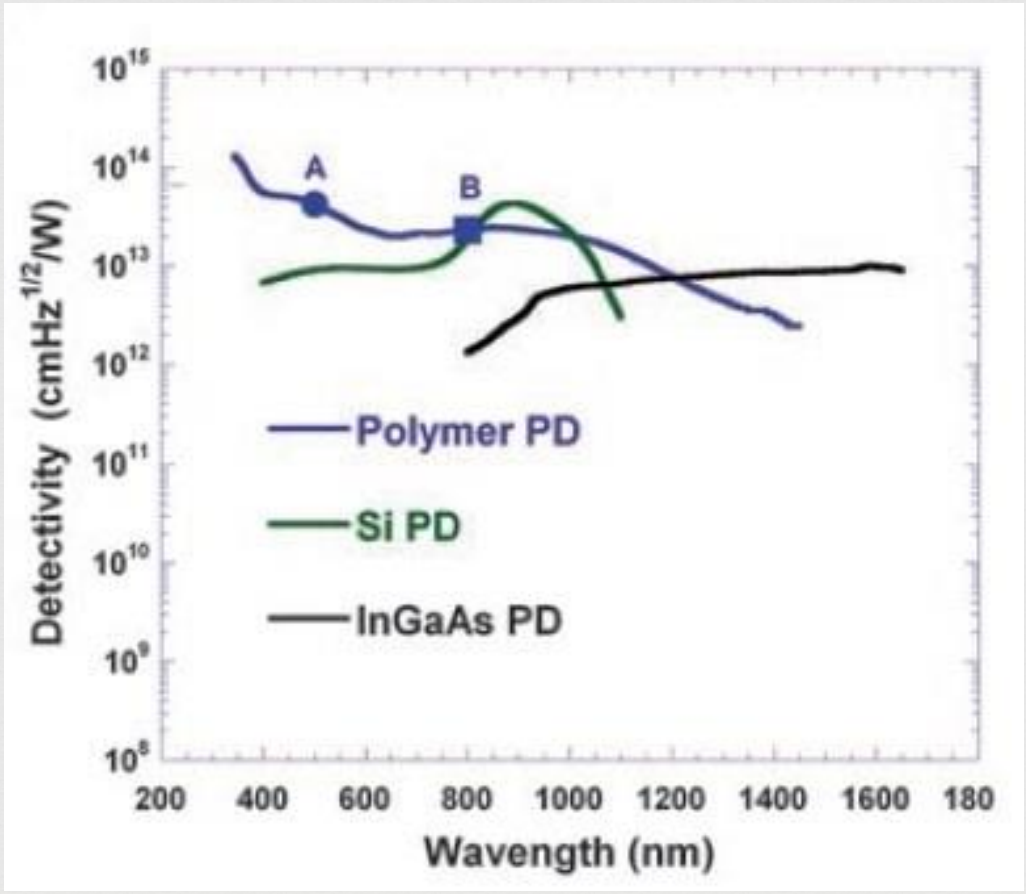
Xiong Gong *et al, Science* 325, 2009.

مقایسه چند ساختار برای دریافت بهترین نتایج

- برای به دست آوردن آشکارسازی بالا نه تنها به پاسخ دهی نوری بالا (جریان نوری بالا) نیاز است بلکه نویز نیز باید کم باشد (جریان تاریک کم).

i. PPD1: ITO/PDDTT:$PC_{60}BM$/Al
ii. PPD2: ITO/PEDOT/PDDTT: $PC_{60}BM$/Al
iii. PDD3: : ITO/PEDOT/PDDTT: $PC_{60}BM$/C_{60}/Al
iv. PDD4: : ITO/PEDOT/PVK/PDDTT: $PC_{60}BM$/ C_{60}/Al
v. PDD5: ITO/PEDOT/PS-TPD-PFCB/PDDTT: : $PC_{60}BM$/ C_{60}/Al

مقایسه آشکارسازی آشکار ساز های نوری مادون قرمز آلی و معدنی



Xiong Gong *et al, Science* 325, 2009.

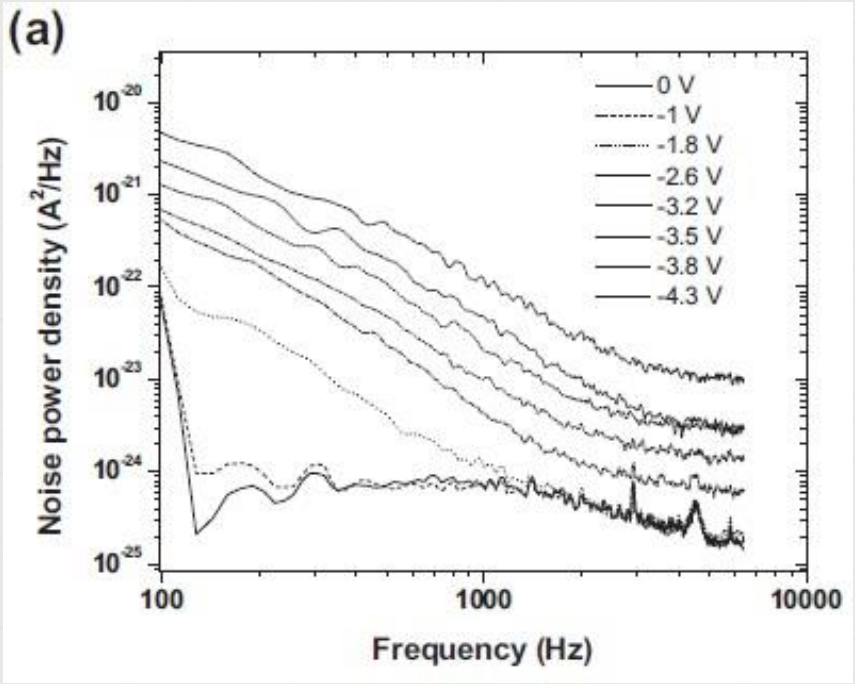
محاسبه NEP آشکارساز NIR-PD

- آشکارسازی نوری آلی که از یک پلیمر با پهنای باند 1.3ev ساخته شده است.

- $\mathrm{NEP} = i_n / R\Delta f^{1/2}$

- **0v** ⟹ $3.85 \times 10^{-12} W\ Hz^{-1/2}$
- **-5v** ⟹ $1.35 \times 10^{-11} W\ Hz^{-1/2}$

(λ=850nm , f=4KHz)



Yan Yao et al, Advanced Materials, 2007.

آشکارسازهای نوری مادون قرمز نزدیک ارگانیک با بازدهی بالا

- آشکارساز مبتنی بر ساختار ناهمگون فتالوسیانین/ C_{60}(Lead phthalocyanine/C_{60}) مسطح.

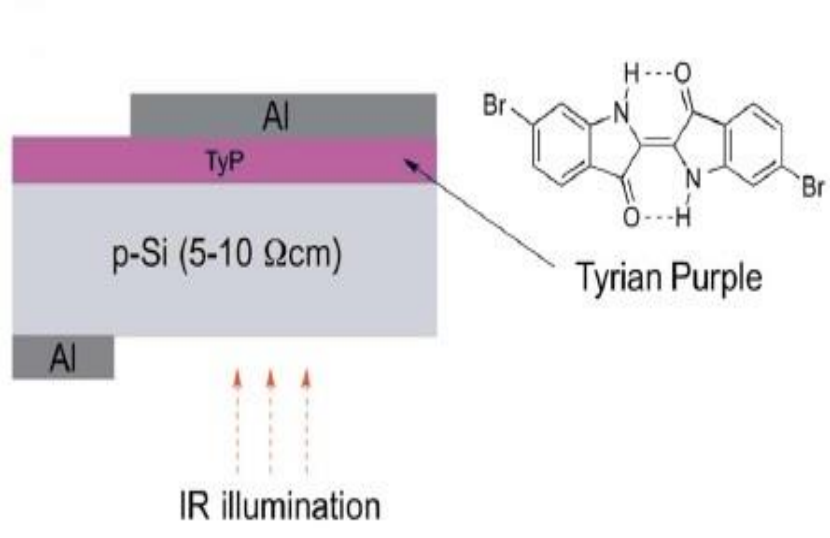
EQE (0v) ➡ 19.7%

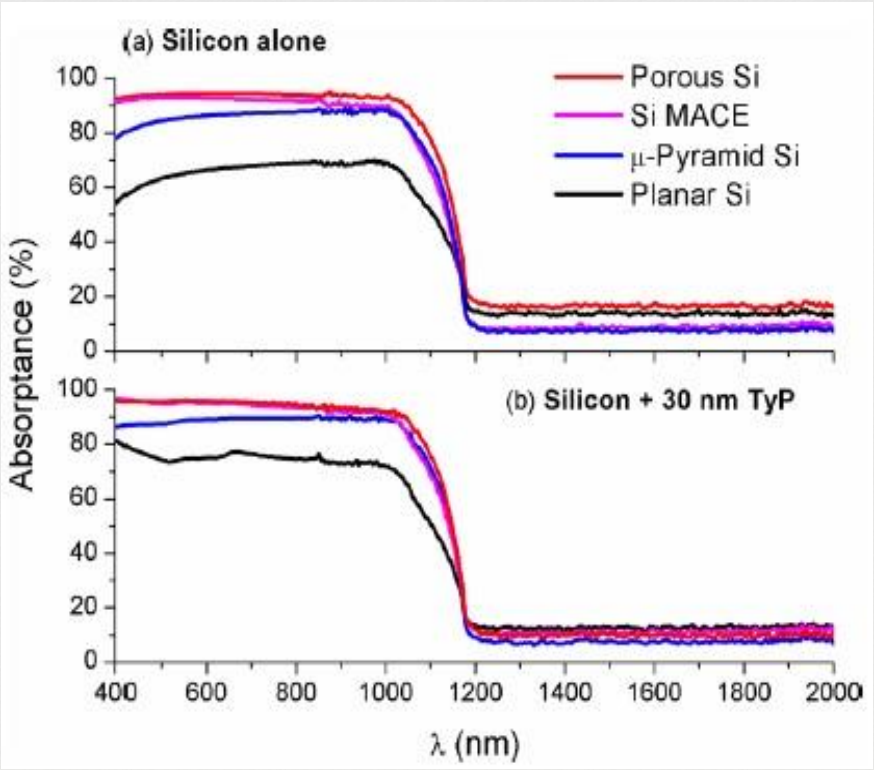
EQE (6v) ➡ 35.1%

جریان تاریک ⬇ آشکارسازی بالای $2.34 \times 10^{11} Jones$ ⬅ در بایاس صفر

ادغام نیمه هادی ارگانیک با نیمه هادی معدنی

- یک دستگاه (آشکارساز) ناهمگون Al/P-Si/TyP/Al به همراه ساختار مولکولی TyP.

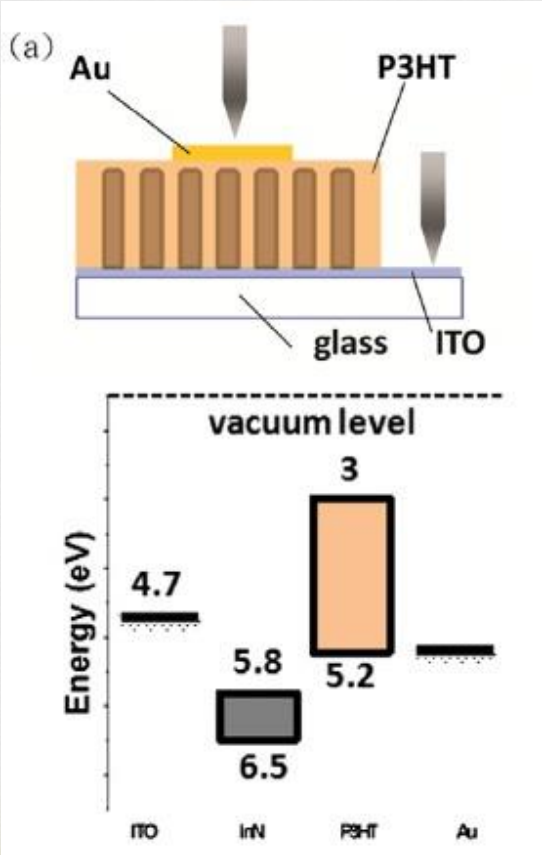




Vedran –Derek et al, Appl. Phys., 2015.

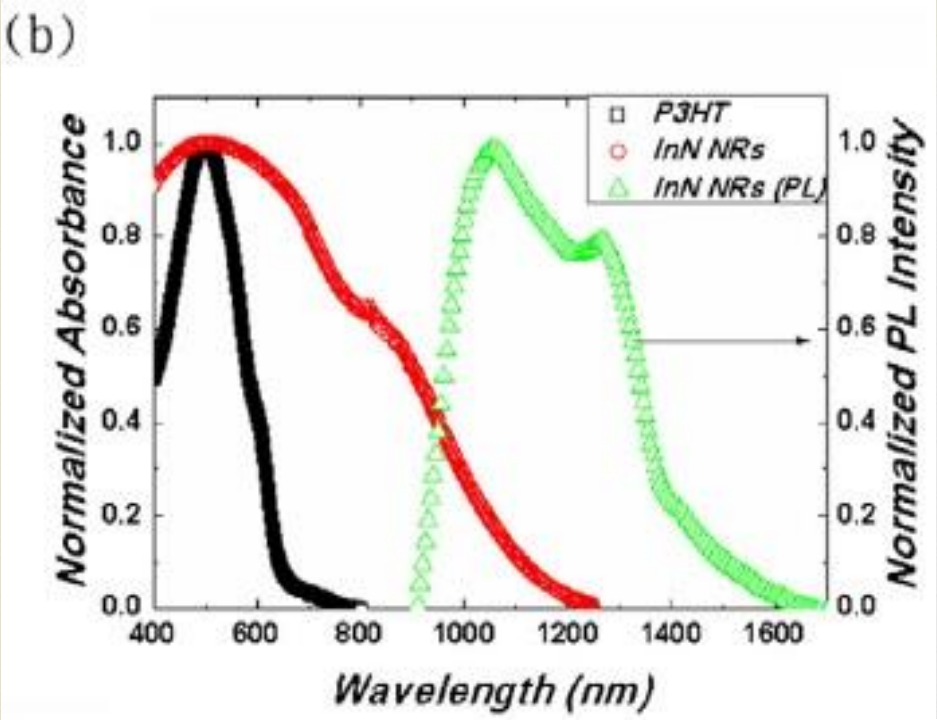
آشکارساز نوری مادون قرمز نزدیک مبتنی بر ترکیب های ارگانیک/غیر ارگانیک پلیمر و نانومیله ایندیم نیترید

- ساختار آشکارساز poly(3-hexylthiophene)/(InN)



- پاسخدهی نوری 900nm-1260nm

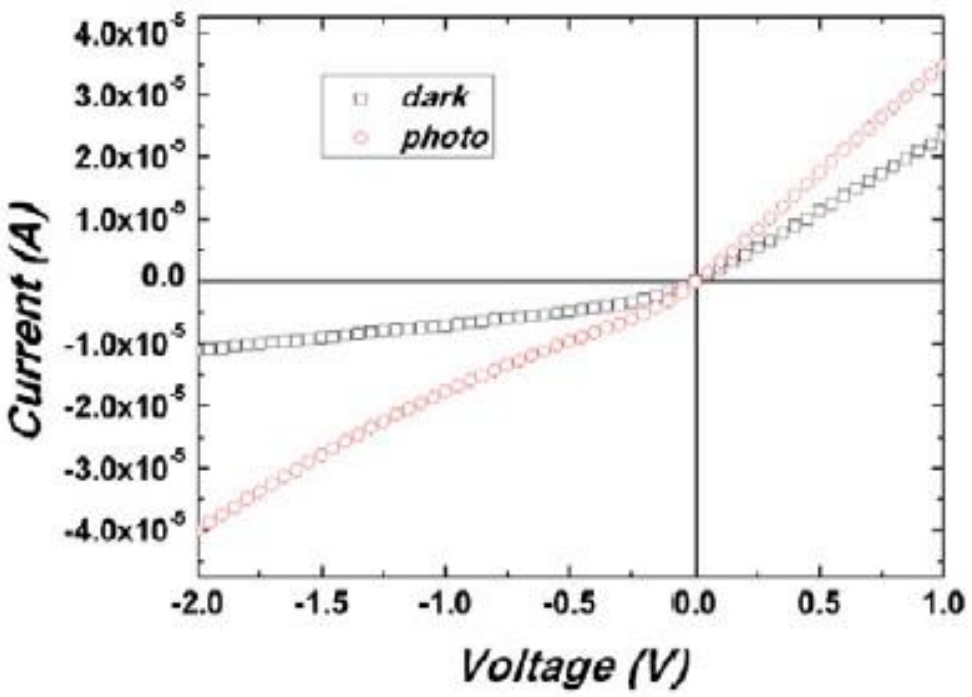
Wei-Jung Lai et al, Elsevier, 2010.



طیف جذب نوری P3HT و InN NRها

Wei-Jung Lai et al, Elsevier, 2010.

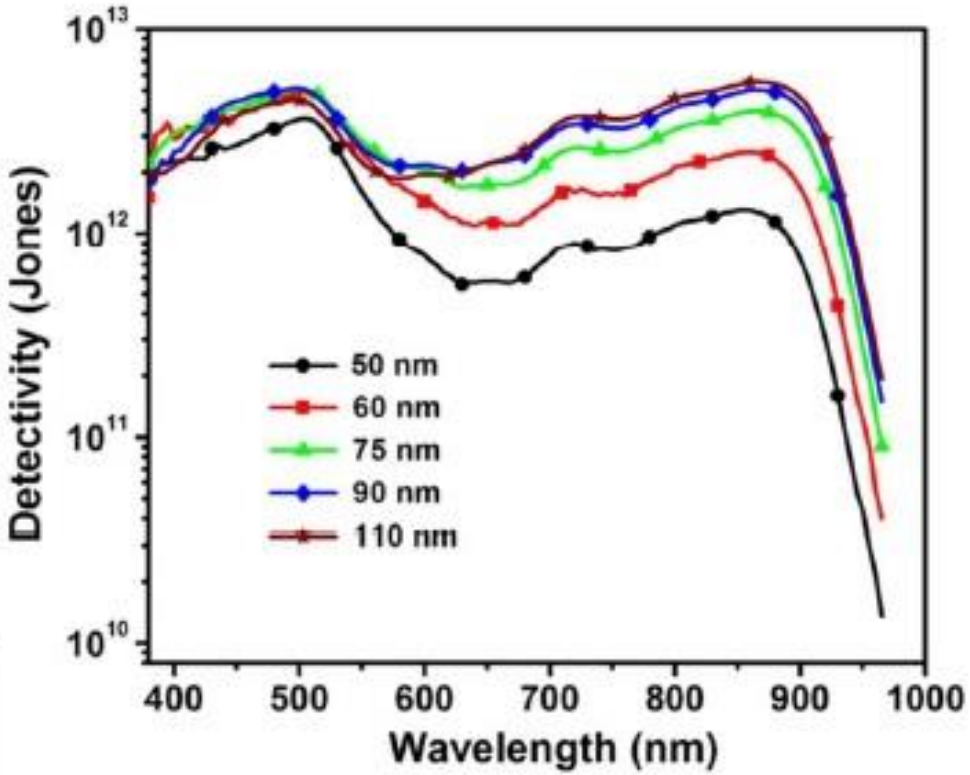
مشخصه I-V یک دستگاه هیبرید InN NRs/P3HT
در تاریکی و زیر روشنایی در ناحیه NIR(>900nm)



آشکارساز های نوری مادون قرمز نزدیک ارگانیک مبتنی بر یک مولکول کوچک پورفیرین

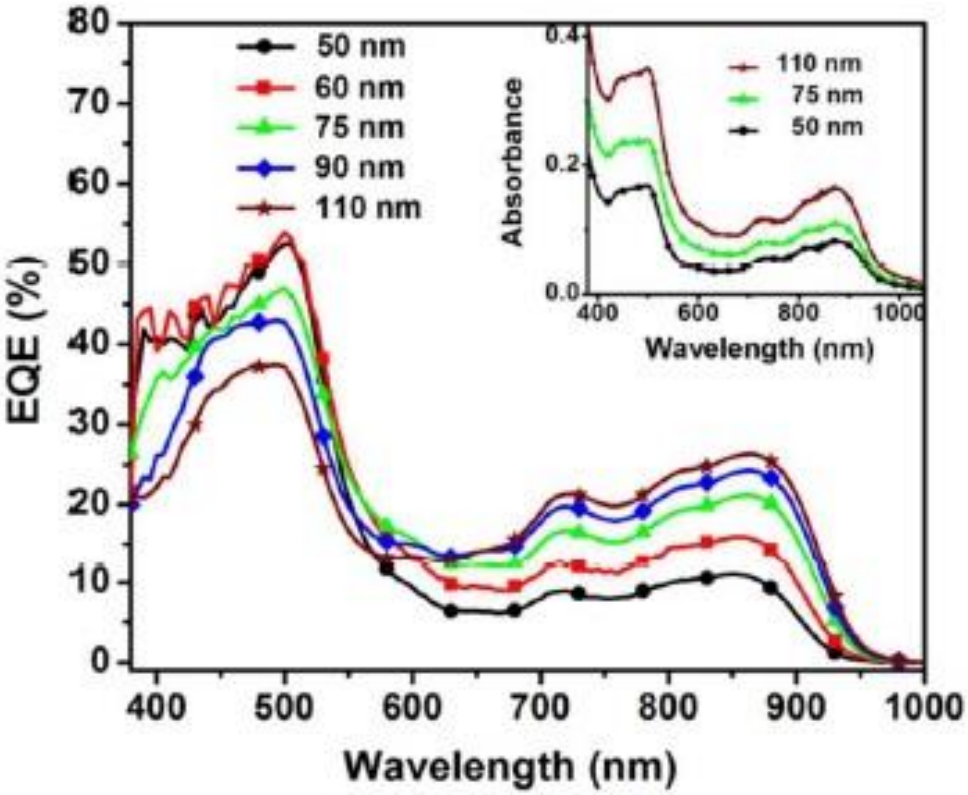
- پارامتر مهم ⬅ آشکارسازی (D^*)
- $D^* = R/2qJ_d{}^{1/2}$
- $R = \lambda * EQE/1240$
- در طول موج کاری $800nm$ و در بایاس صفر ولت، آشکارسازی $1.10 \times 10^{12} Jones$ برای دستگاه که ضخامت ناحیه فعال آن $50nm$ می باشد به دست آمده است. با افزایش ضخامت ناحیه فعال به اندازه $110nm$، مقدار آشکارسازی افزایش می یابد و به $4.56 \times 10^{12} Jones$ می رسد.

آشکارسازی PDها به ضخامت لایه فعال وابسته است.



آشکارسازی های NIR-PDها با ضخامت های متفاوت لایه فعال.

طیف EQEبرای NIR-PDها با ضخامت های مختلف لایه فعال. نمودار داخلی، طیف جذب لایه فعال با ضخامت های مختلف را نشان می دهد.

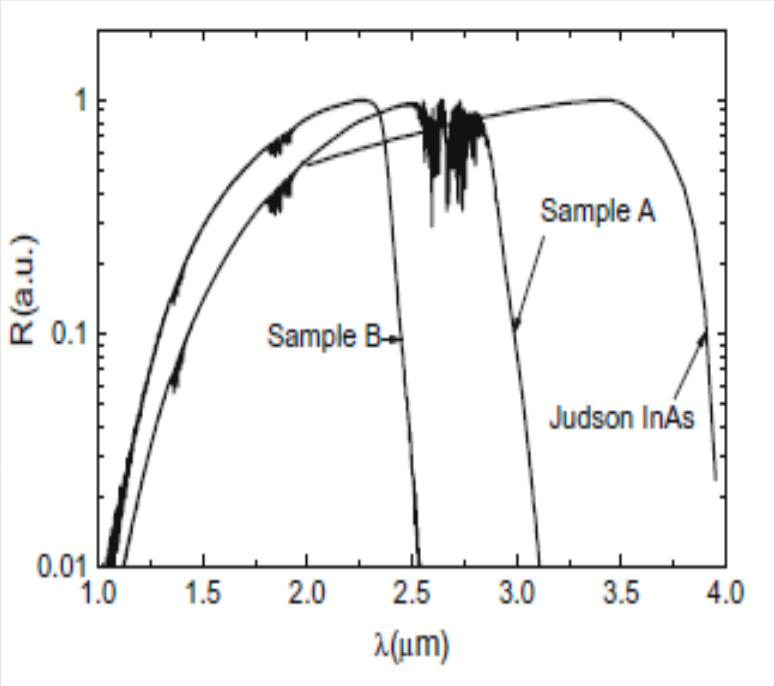


Lisheng Li et al, Journal of Materials Chemistry C, 2013.

thickness (nm)	J_d [a] (nA/cm^2)	J_d [b] (uA/cm^2)	EQE [c] at 500 nm (%)	EQE [c] at 800 nm (%)	D* [a] at 800 nm (Jones)
~50	10.52	24.70	52.48	9.87	1.10×10^{12}
~60	6.01	5.71	53.95	14.53	2.14×10^{12}
~75	4.27	4.41	46.90	18.59	3.25×10^{12}
~90	3.49	2.08	42.73	21.44	4.14×10^{12}
~110	3.44	1.50	37.24	23.47	4.56×10^{12}

با افزایش ضخامت لایه فعال PD، EQE افزایش می یابد و جریان تاریک کاهش می یابد و در نتیجه آشکار سازی آشکارساز افزایش می یابد.

آشکارساز نوری مادون قرمز InGaAs



طیف پاسخدهی اندازه گیری شده که توسط آشکار ساز A (In0.90Gl0.10As) و آشکارساز B (In0.78Ga0.22As) مذکور گسترش پیدا کرده را در دمای اتاق نشان می دهد.

Cheng Li et al, Elsevier, 2010.

جمع بندی

- آشکارساز نوری پلیمری با لایه فعال ناهمگون بالک $PDDTT:PC_{60}BM$ (پاسخدهی و حساسیت بالا و طیف پاسخدهی 400nm-900nm).
- آشکارساز مبتنی بر ساختار ناهمگون فتالوسیانین/ C_{60}(Lead phthalocyanine/C_{60}) مسطح دارای پاسخدهی بالا است.(وجود لایه بلوکه کننده حفره بین لایه فعال ارگانیک و لایه کاتد).
- آشکارساز ناهمگون Al/P-Si/TyP/Al (کم هزینه و قابل تطبیق با CMOS سیلیکون نهادی و پاسخدهی نوری تا 2000nm).
- آشکارساز poly(3-hexylthiophene)/(InN) (ترکیب بدون استفاده از مواد سمی و پاسخدهی نوری 900nm-1260nm).
- آشکار ساز Porphyrin (پاسخدهی 380nm-930nm با آشکارسازی بزرگتر از $10^{12} Jones$).
- آشکار ساز InGaAs (آشکار سازی در دمای اتاق $6.6\times 10^{9} cmHz^{1/2}/W$).

منابع

[1] Yan Yao et al, " Plastic Near-Infrared Photodetectors Utilizing Low Band Gap Polymer", Advanced Materials, 2007

[2] Xiong Gong *et al*, " High-Detectivity Polymer Photodetectors with Spectral Response from 300 nm to 1450 nm", *Science* 325, 2009.

[3] Xing Wang et al, "Efficient organic near-infrared photodetectors based on lead phthalocyanine/C60 heterojunction", Elsevier Organic Electronics, 2014.

[4] Vedran –Derek et al, "Enhanced near-infrared response of nano- and microstructured silicon/organic hybrid photodetectors",APPLIED PHYSICS LETTERS, 2015.

[5] Wei-Jung Lai et al, "Near infrared photodetector based on polymer and indium nitride nanorod organic/inorganic hybrids", Elsevier Scripta Materialia, 2010.

[6] M. Casalino, "Near-Infrared Sub-Bandgap All-Silicon Photodetectors: A Review", International Journal of Optics and Applications, 2012.

[7] Lisheng Li et al, "High response organic near-infrared photodetectors based on a porphyrin small molecule", Journal of Materials Chemistry C, 2013.