بررسی انواع نویز در آشکارساز های مادون قرمز

انواع نویز

۱. نویز های زمینه (ناشی از تابش خورشید،تغییرات دمای محیط و ...)

۲. نویز های داخلی (حرارتی،1/f ، الکترونیکی، پواسن و ...)

نویز حرارتی

- نویز حرارتی ناشی از حرکت تصادفی الکترون های آزاد در مدارات الکتریکی است.
- نویز حرارتی را نویز سفید یا گوسی و یا نویز جانسون می گویند.
- نویز حرارتی در یک مقاومت R موجب ایجاد ولتاژ اتفاقی v(t) در دو سر آن خواهد شد که توزیع گوسی دارد :

k = Boltzmann constant = 1.38×10^{-23} J/K

h = Planck constant = 6.62×10^{-34} J-s

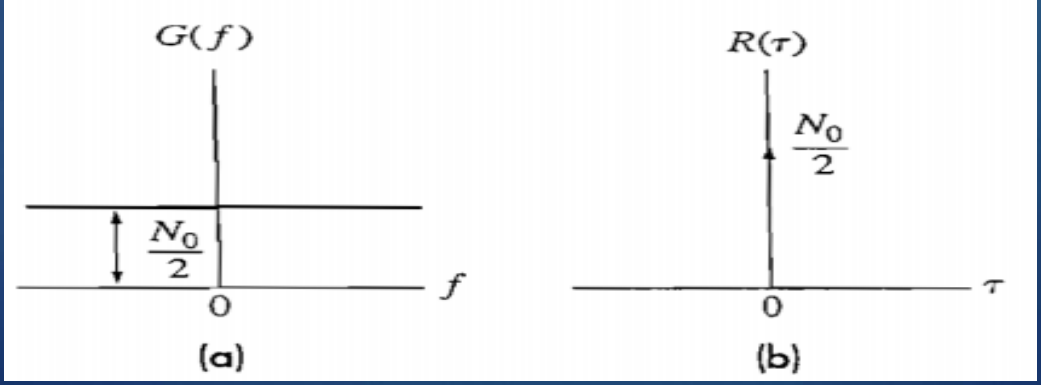
$$\overline{v^2} = \sigma_V^2 = \frac{2(\pi k \mathcal{T})^2}{3h} R \qquad \mathrm{V}^2$$

نویز سفید

- علاوه بر نویز حرارتی مقاومت انواع دیگر نویز نیز توزیع گوسی با طیف توان یکنواخت دارند که به آن نویز سفید می گویند

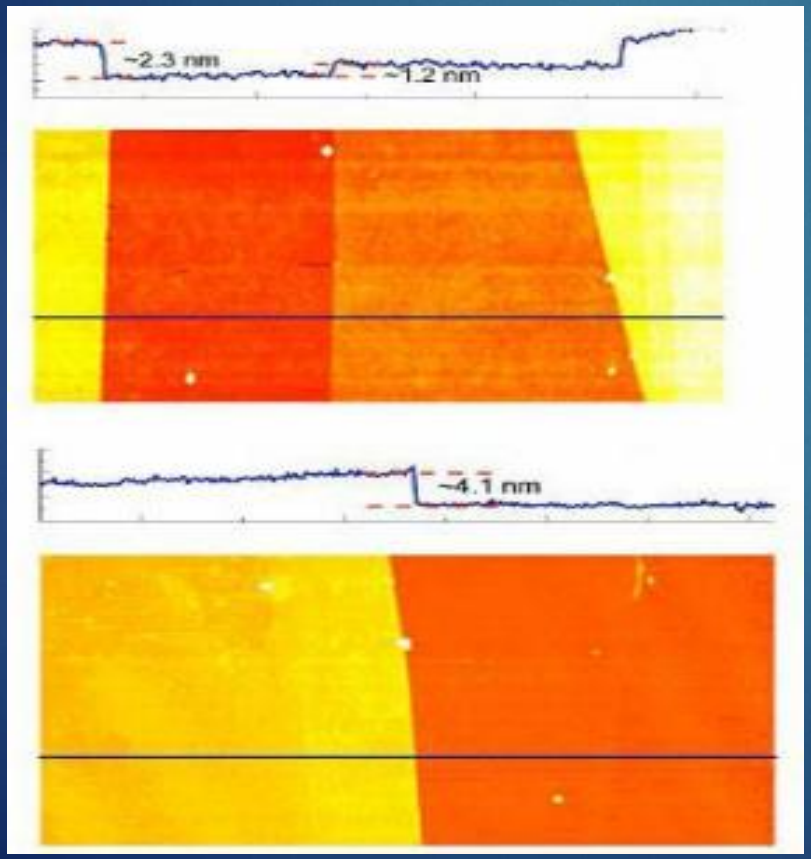
$$G(f) = N_0/2 \qquad R(\tau) = \frac{N_0}{2}\delta(\tau)$$

- تابع همبستگی ضربه نشاندهنده آن است که نویز کاملا اتفاقی است.
- مقدار N0 بستگی به نوع نویز دارد.
- نویز های غیر حرارتی را نیز می توان مانند نویز حرارتی تحلیل نمود که در این صورت N0=kTn و Tn درجه حرارت معادل نویز تعریف می گردد.



نویز 1/f

- این نویز که به آن نویز صورتی یا چشمک زن می گویند،به فرآیند نوسانات فرکانسی گفته می شود که در سیستم های فیزیکی دیده می شود.



نویز پواسن

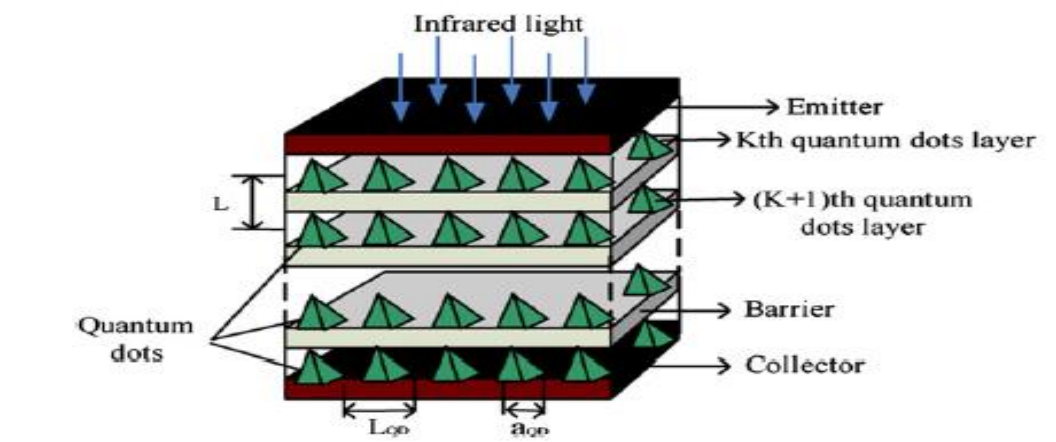
- نویز پواسن یا نویز shot یک نویز الکترونیکی است که با یک توزیع پواسن مدل می شود.
- در الکترونیک نویز پواسن از طبیعت گسسته بودن شارژ الکتریکی ناشی می شود.
- نویز پواسن همچنین در ادوات الکترونیک نوری نیز اتفاق می افتد جایی که این نویز به همراه قسمت هایی از نور همراه می شود.

آشکارساز مادون قرمز

- آشکار ساز یک دیود شاتکی با بایاس معکوس است.
- در دیود شاتکی به جای استفاده از نیمه هادی نوع n و p از اتصال یک نیمه هادی خالص (ذاتی) بدون آلایش و یک فلز ساخته می شود.
- در دیود شاتکی اختلاف توابع کار فلز و نیمه هادی باعث ایجاد یک سد پتانسیل می شود.
- تابع کار عبارتست از مقدار انرژی مورد نیاز برای آزاد کردن یک الکترون از سطح ماده

آشکار ساز نقطه کوانتومی

- در ادامه یک تکنولوژی خاص را مورد نظر گرفته و آن را به طور کامل بررسی می کنیم :



آشکارساز نقطه کوانتمی

تشریح ساختار

- در این نوع آشکارسازها محدودیت حامل ها در سه بعد اتفاق می افتد که این محدودیت سه بعدی چند ویژگی برجسته به این آشکارسازها می دهد .

۱. به قطبش نور ورودی حساس نمی باشند و بنابراین به گریتینگ نیازی ندارند.

۲. جریان تاریک کمتری نسبت به آشکارسازهای چاه کوانتمی دارند.

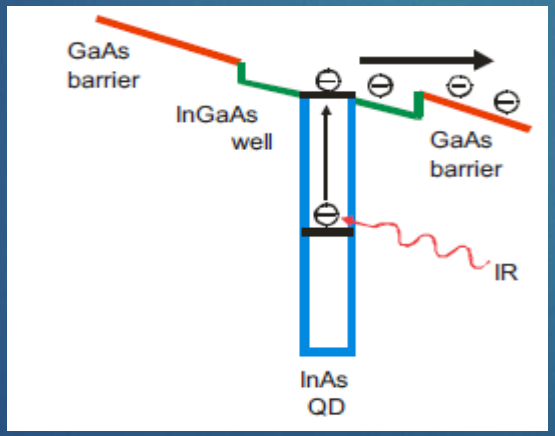
۳. قابلیت کار در دمای عملکرد بالاتر را به علت جریان تاریک کمتر دارا می باشند.

تشریح ساختار

- متداول ترین ماده به کار رفته در آشکارسازهای مادون قرمز نقطه کوانتمی InAs/GaAs می باشد .نیمه هادی InAs به عنوان نقطه کوانتمی و نیمه هادی GaAs به عنوان لایه سد می باشد.
- در آشکارسازهای نقطه کوانتمی می توان با تغییر اندازه نقاط کوانتمی محدوده ای از طول موج ها را آشکار کرد.
- به علت مشکل بودن تغییر اندازه نقاط کوانتمی از ساختار جدیدی به نام آشکار ساز مادون قرمز نقطه در چاه کوانتمی (DWELL) استفاده می شودکه براحتی با تغییر اندازه چاه کوانتمی می توان بدون تغییر اندازه نقاط کوانتمی محدوده ای از طول موج ها را آشکارکرد.

تشریح ساختار

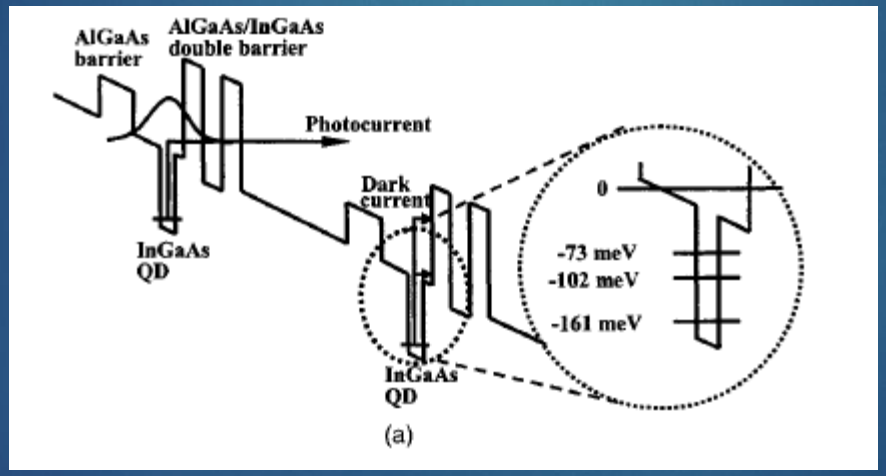
- به علت محدودیت بیشتر حامل ها در این ساختار پیش بینی می شود کا
  جریان تاریک کمتری نسبت به ساختار معمولی نقطه کوانتمی داشته
  باشد.



ساختار نقطه در چاه کوانتمی

تشریح ساختار

- کاملترین نوع ساختار آشکارسازهای کوانتمی ، ساختار نقطه در چاه کوانتمی با تونل زنی تشدیدی می باشد.(RT-DWELL)



ساختار باند انرژی RT-DWELL

تعریف نویز جریان تاریک

- در ساختار نقطه کوانتمی با تونل زنی تشدیدی جریان تاریک به میزان قابل توجهی کاهش می یابد زیرا این ساختار به انرژی های خاصی اجازه عبور را می دهد.
- در آشکارسازهای نوری، جریان الکتریکی‌ای که از منابعی به غیر از تحریک نوری ناشی شود به عنوان جریان تاریک تلقی می‌شود.
- این جریان که به صورت نویز عمل می‌کند، نقش اساسی در محدود نمودن عملکرد آشکارساز نوری مادون قرمز برعهده دارد و مستقیماً دمای عملکرد آنرا تعیین می نماید.
- مولفه‌های اصلی جریان تاریک در آشکارسازهای مادون قرمز نقطه کوانتمی عبارتند از:

تعریف نویز جریان تاریک

۱. گسیل گرما یونی
۲. تونل‌زنی حامل‌ها به کمک میدان.

- نویز مربوط به جریان تاریک آشکارسازهای عملی تر RT-DWELL به صورت عددی محاسبه و بامدل های قبلی مقایسه می شود.
- انتظار می رود به دلیل پدیده تونل زنی تشدیدی کاهش چشمگیری در نویز آشکارساز نقطه کوانتمی شاهد باشیم.

مدل های فیزیکی محاسبه جریان تاریک آشکارسازهای مادون قرمز کوانتمی

1. مدل مبتنی بر سرعت رانشی حامل ها:

$$j_{dark} = e\frac{\mu E}{\sqrt{1+(\frac{\mu E}{v_s})^2}}\int_{-\infty}^{+\infty} N(E)f(E)T(E,V)dE$$

2. مدل انتشار – گیرش:

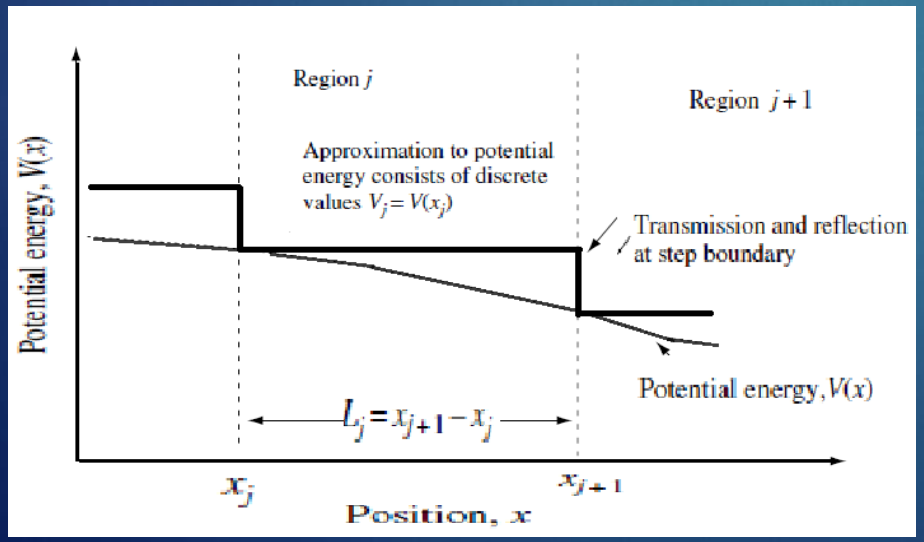
$$j_{dark} = e\frac{L_p}{\tau_{trans}}\int_{-\infty}^{+\infty} N(E)f(E)T(E,V)dE$$

3. یک مدل دیگر ارایه شده برای چگالی جریان تاریک:

$$J_{dark} = q\sum QD\frac{G_K + G_t}{P_c}$$

محاسبه احتمال تونل زنی به روش عددی ماتریس انتقال

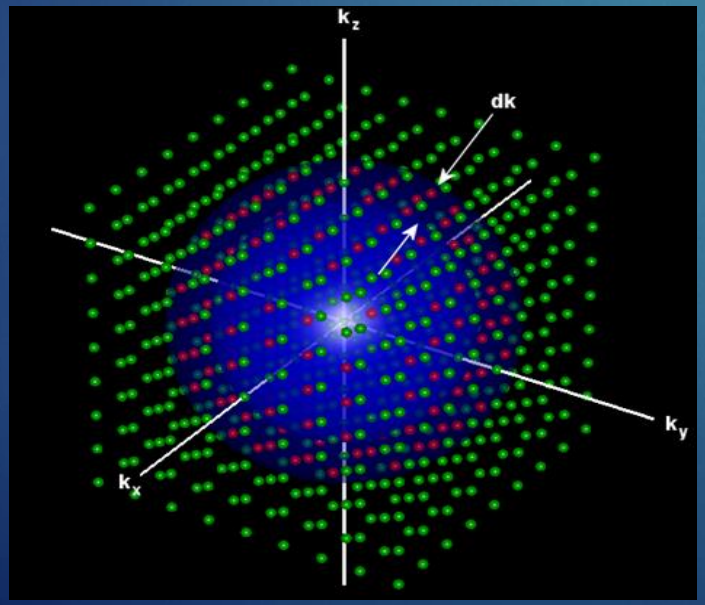
فرض کنیدیک الکترون با انرژی مشخص Eو جرم mبه یک پروفایل پتانسیل V(x) با شکل دلخواه(با تغییرات نرم) برخوردکند ، با توجه به اینکه حل معادله شرودینگر به صورت تحلیلی فقط برای یک سد پتانسیل ساده امکان پذیر است ، برای حل معادله شرودینگر باید از روش عددی کمک گرفت .در این روش پروفایل پتانسیل به پله های کوچک با تعداد زیاد تقسیم می شود.



پروفایل یک پتانسیل دلخواه که به چند پله تقسیم شده است.

محاسبه چگالی حالات

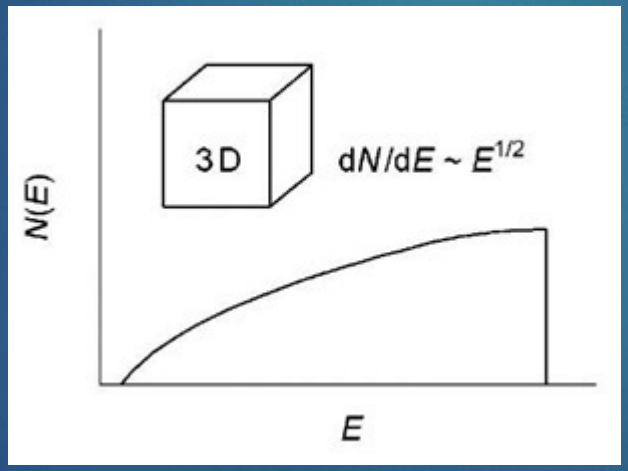
- چون جریان نتیجه حرکت کردن بارها است پس یک گام مهم در این روند تعیین نمودن تعداد الکترون ها و حفره های نیمه هادی است که در این هدایت(انتقال بارها) مورد استفاده قرار می گیرند.
- برای این کار نیاز است چگالی حالات در سه بعد را بدست آوریم:



نمودار فضایی بردار موج k

محاسبه چگالی حالات در سه بعد

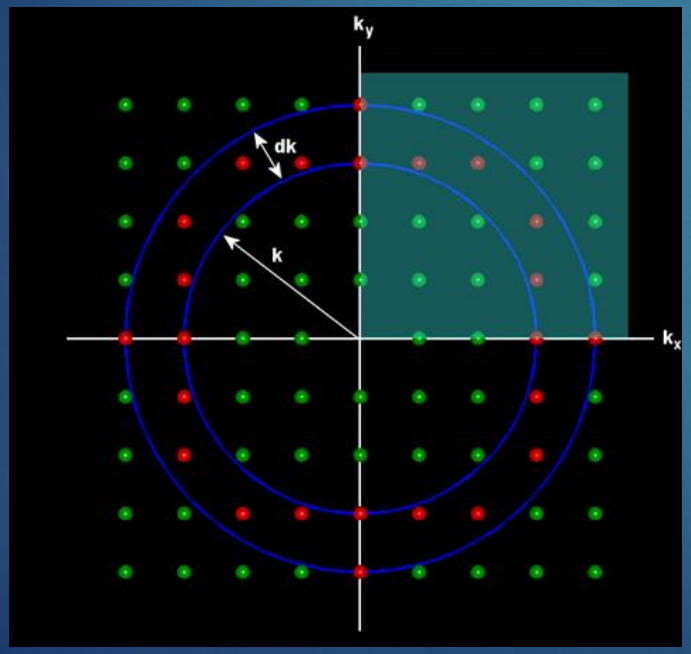
$$N(E) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}\sqrt{E - E_c}H(E - E_c)$$



چگالی حالات بر حسب انرژی در سه بعد

محاسبه چگالی حالات در دو بعد(چاه کوانتمی)

- در این حالت ذره در یک بعد محدود و در دو بعد آزاد می باشد.



نمودار فضای k در دوبعد

محاسبه نویز

- به علت اینکه نویزعمدتا ناشی از فرایند تولید- بازترکیب حامل هاست بنابراین رابطه آن مطابق زیر است:

$$i_n = \sqrt{4eg_n I_d}$$

- که I_d همان جریان تاریک آشکارساز است و به صورت $I_d = j_d * A$ محاسبه می شود که A همان مساحت آشکارساز می باشد و g_n بهره نویز است که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$g_n = \frac{\tau_{life}}{k\tau_{trans}}$$

که kتعداد لایه های متوالی نقطه در چاه کوانتمی می باشد .

محاسبه نویز

- τ_{life} از رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$\tau_{life} = \frac{(k+1)L}{\pi {a_{QD}}^2 h_{QD} \sum QD\, V_t}$$

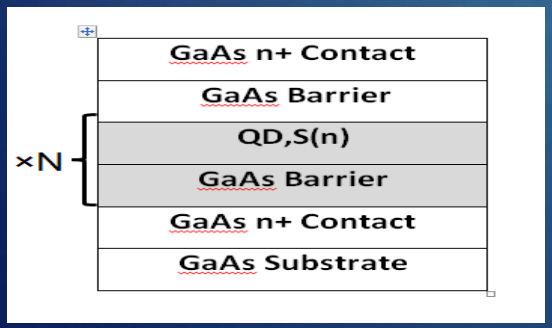
که L فاصله بین لایه های کوانتمی، a_{QD} عرض نقطه کوانتمی و h_{QD} ارتفاع نقطه کوانتمی می باشد.

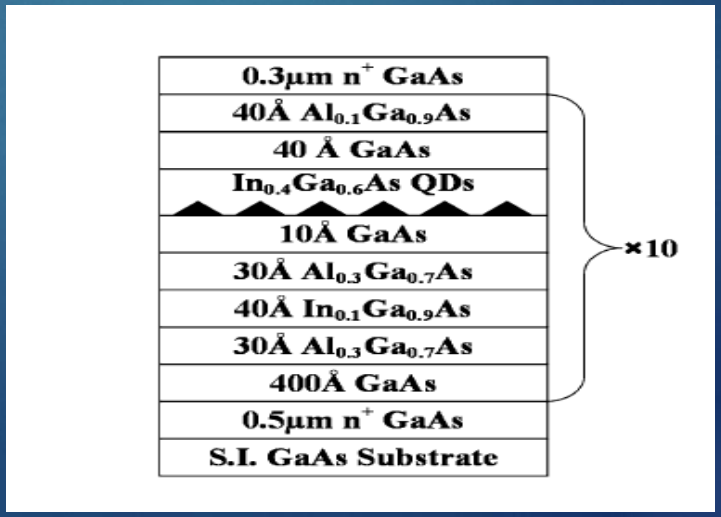
- بنابراین نویز آشکار ساز مطابق ذیل حساب می شود :

$$\mathrm{i_n} = \sqrt{4\mathrm{e}\frac{\mu E(k+1)L}{k\pi {a_{QD}}^2 {h_{QD}}^2 \sum QD\, V_t [1+(\frac{\mu E}{v_s})^2]^{\frac{1}{2}}}}\,\mathrm{I_d}$$

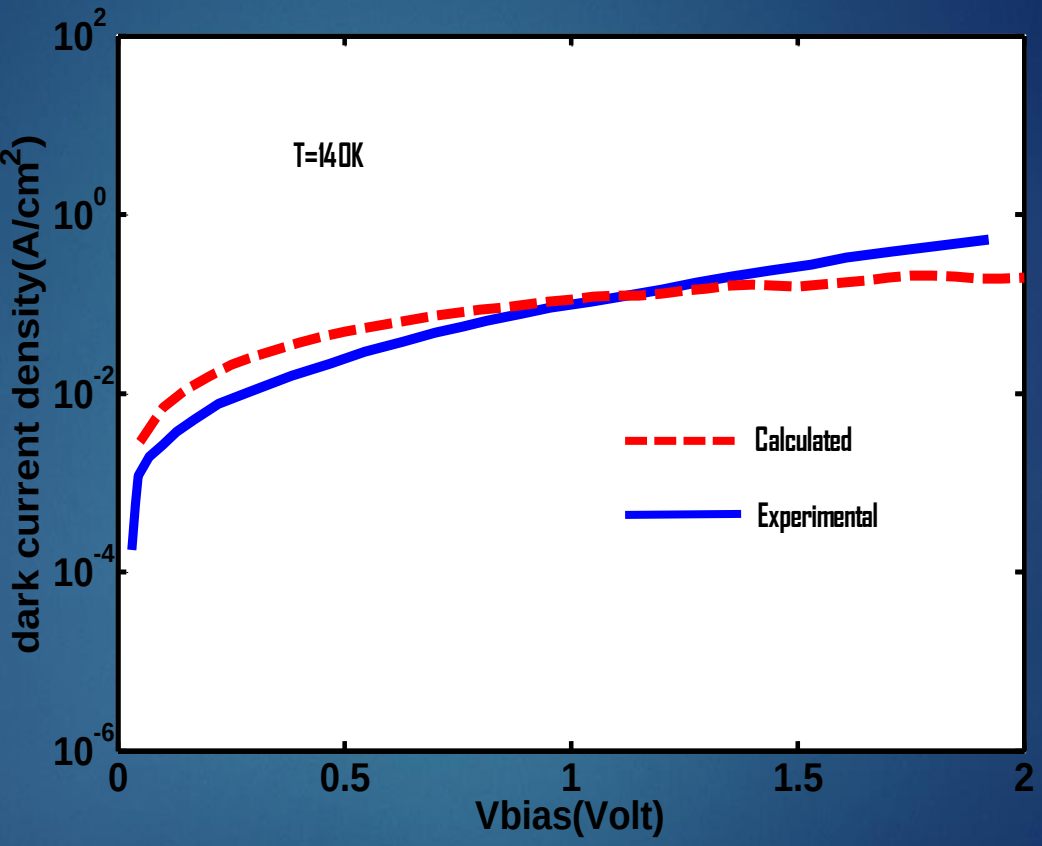
چگونگی تاثیر نویز در آشکارسازها

- مهمترین نویز در آشکارساز نوری، نویز جریان تاریک است.
- ما تاثیر این نویز را بر روی دو آشکارساز **QDIP** و **RT-DWELL** با مشاهده نودارهای مختلف بررسی می کنیم.
- شکل سمت راست ساختار یک **RT-DWELL** و شکل سمت چپ یک ساختار معمولی **QDIP** را نمایش می دهد.



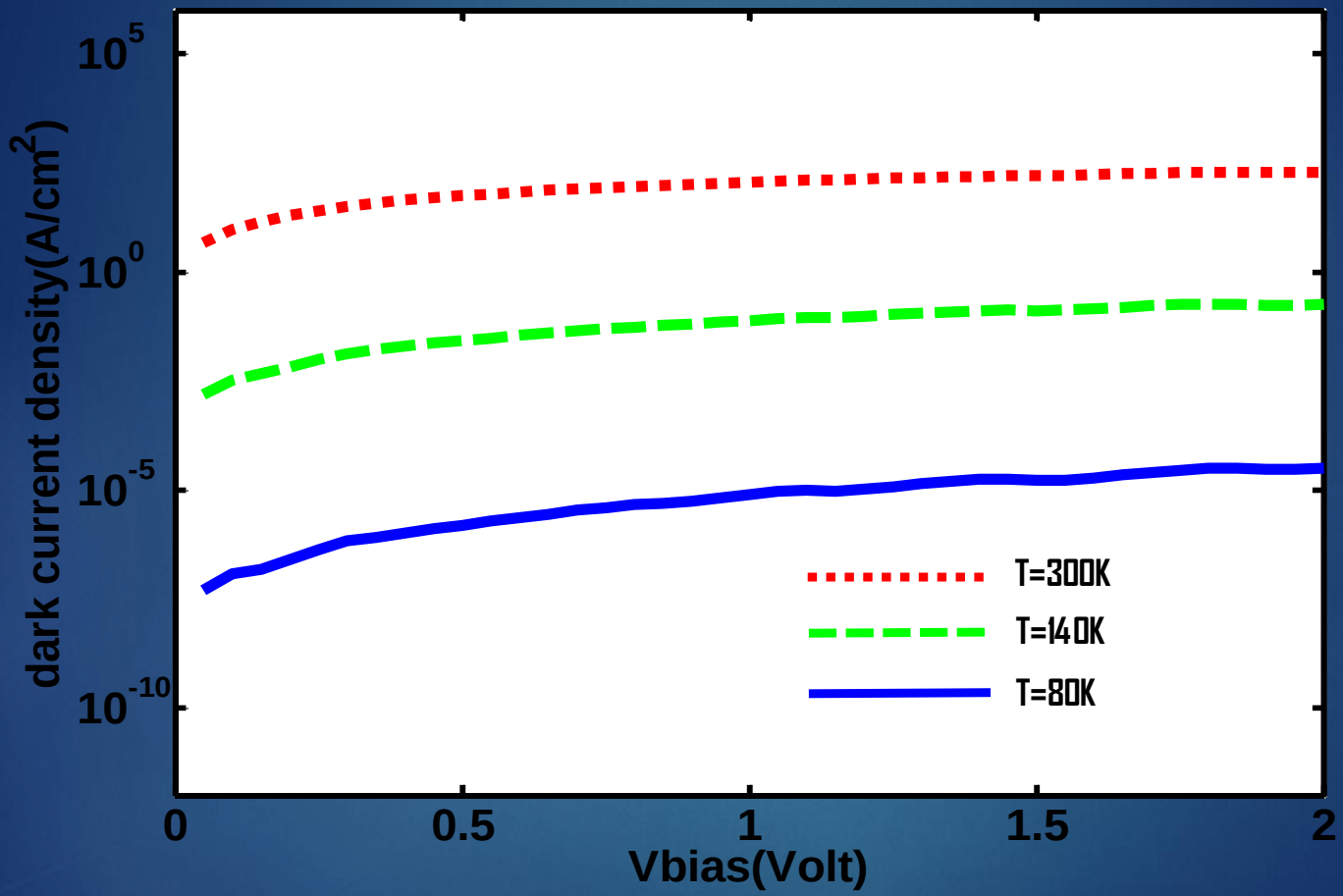


تاثیر نویز در آشکارساز QDIP



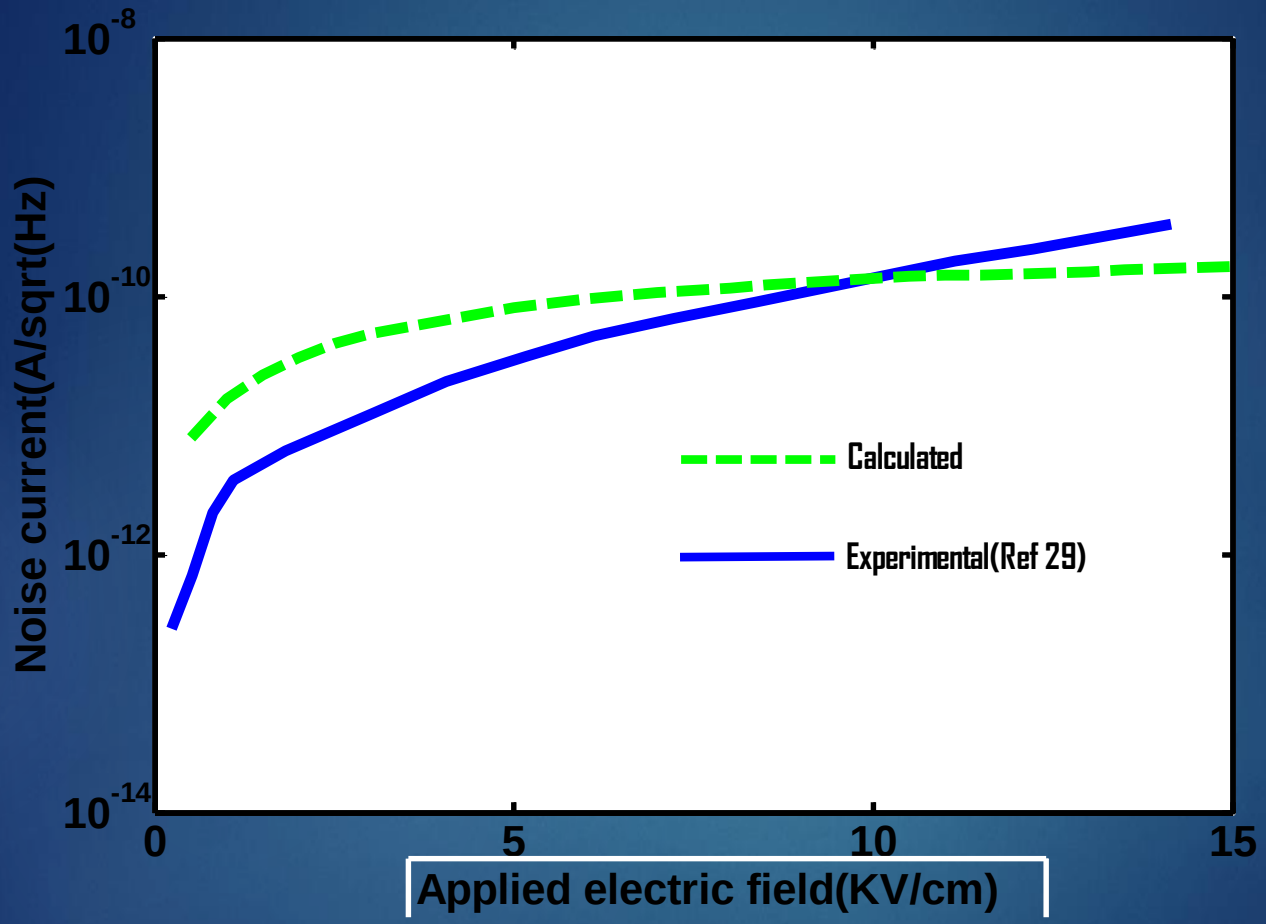
نمودار چگالی جریان تاریک بر حسب ولتاژ بایاس در ساختار QDIP

تاثیر نویز در آشکارساز QDIP



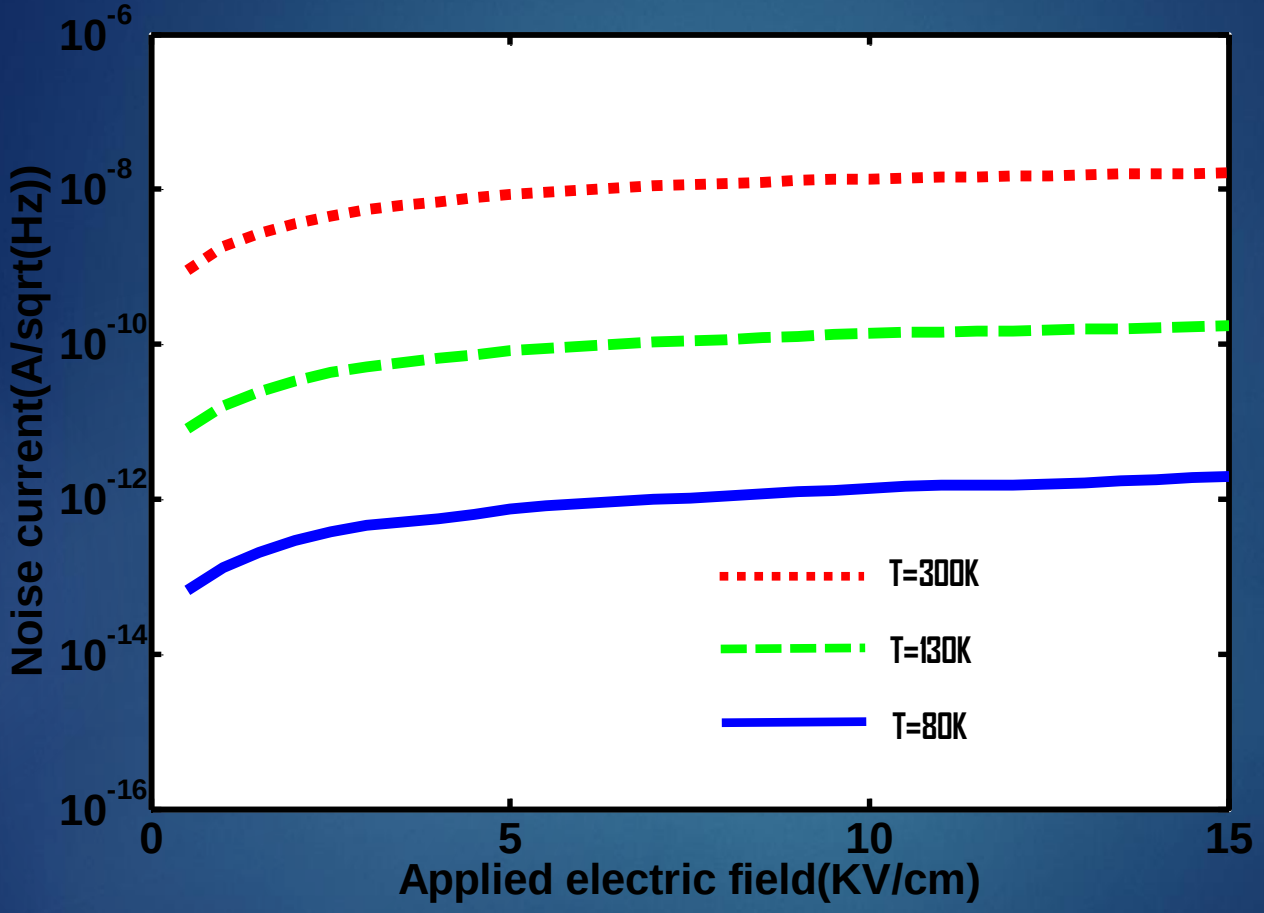
نمودار چگالی جریان تاریک بر حسب ولتاژ بایاس در دماهای مختلف

QDIP تاثیر نویز در آشکارساز



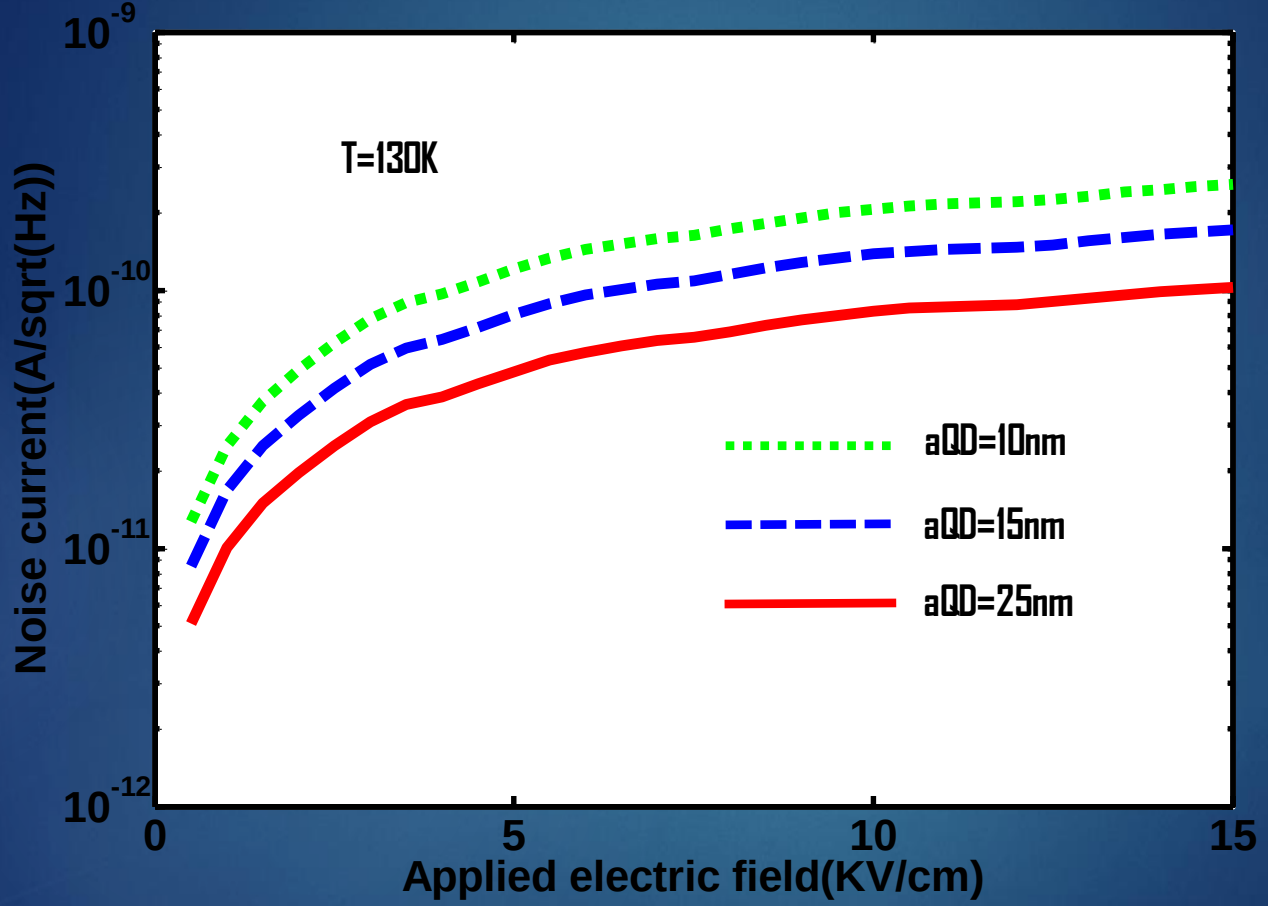
نمودار نویز بر حسب میدان الکتریکی در ساختار QDIP

تاثیر نویز در آشکارساز QDIP



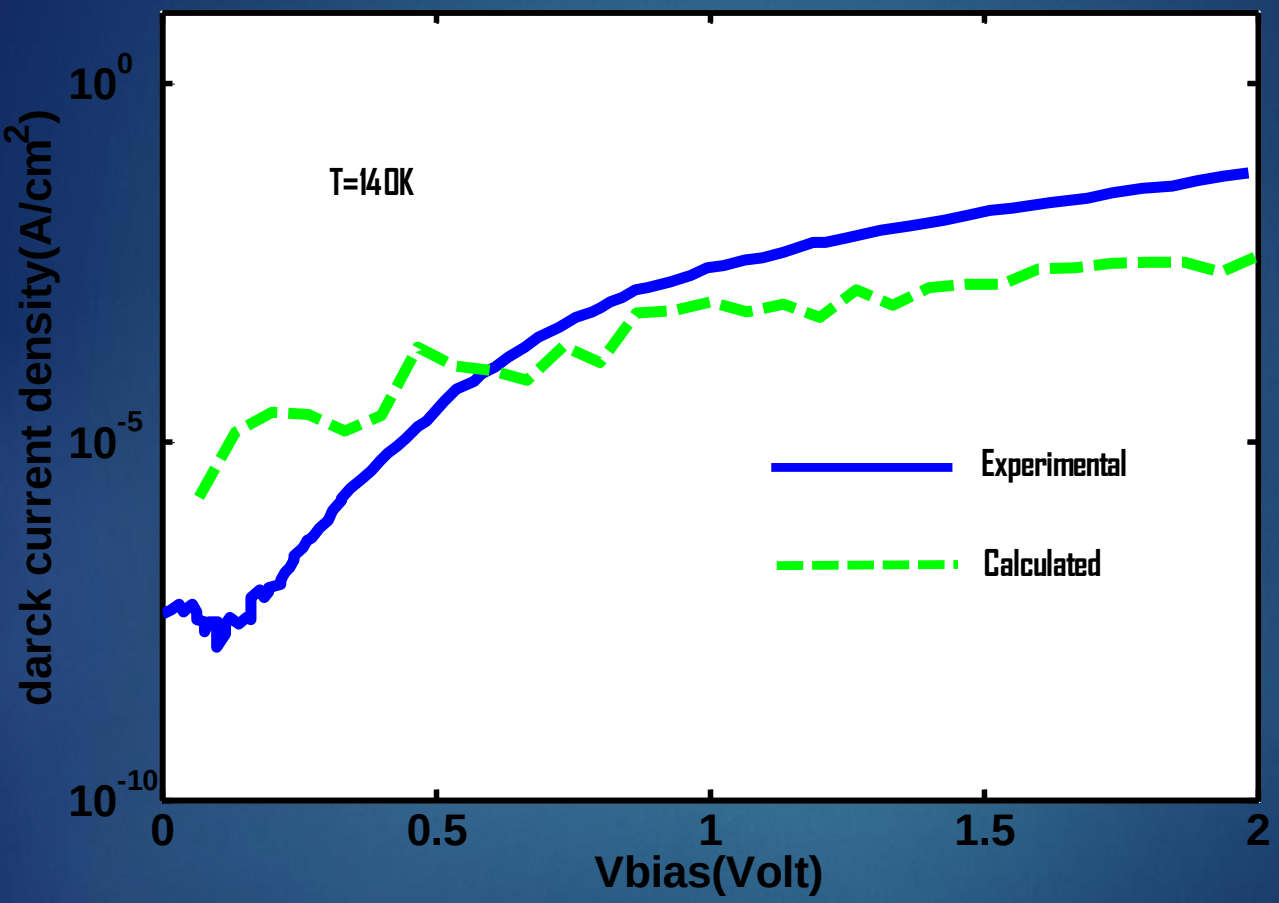
نمودار نویز بر حسب میدان الکتریکی در دماهای مختلف در ساختار QDIP

تاثیر نویز در آشکارساز QDIP



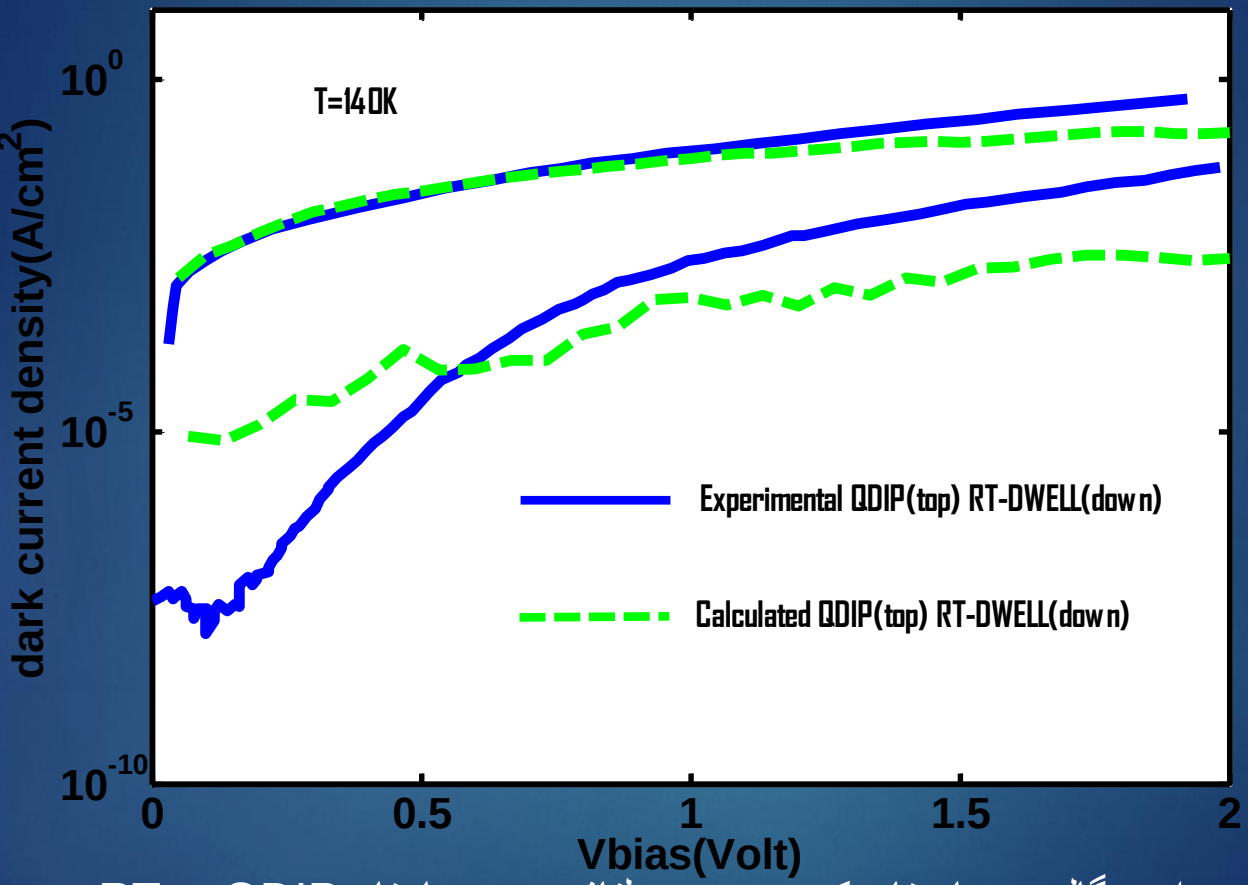
نمودار نویز بر حسب میدان الکتریکی در چند اندازه مختلف نقطه کوانتمی در ساختار QDIP

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



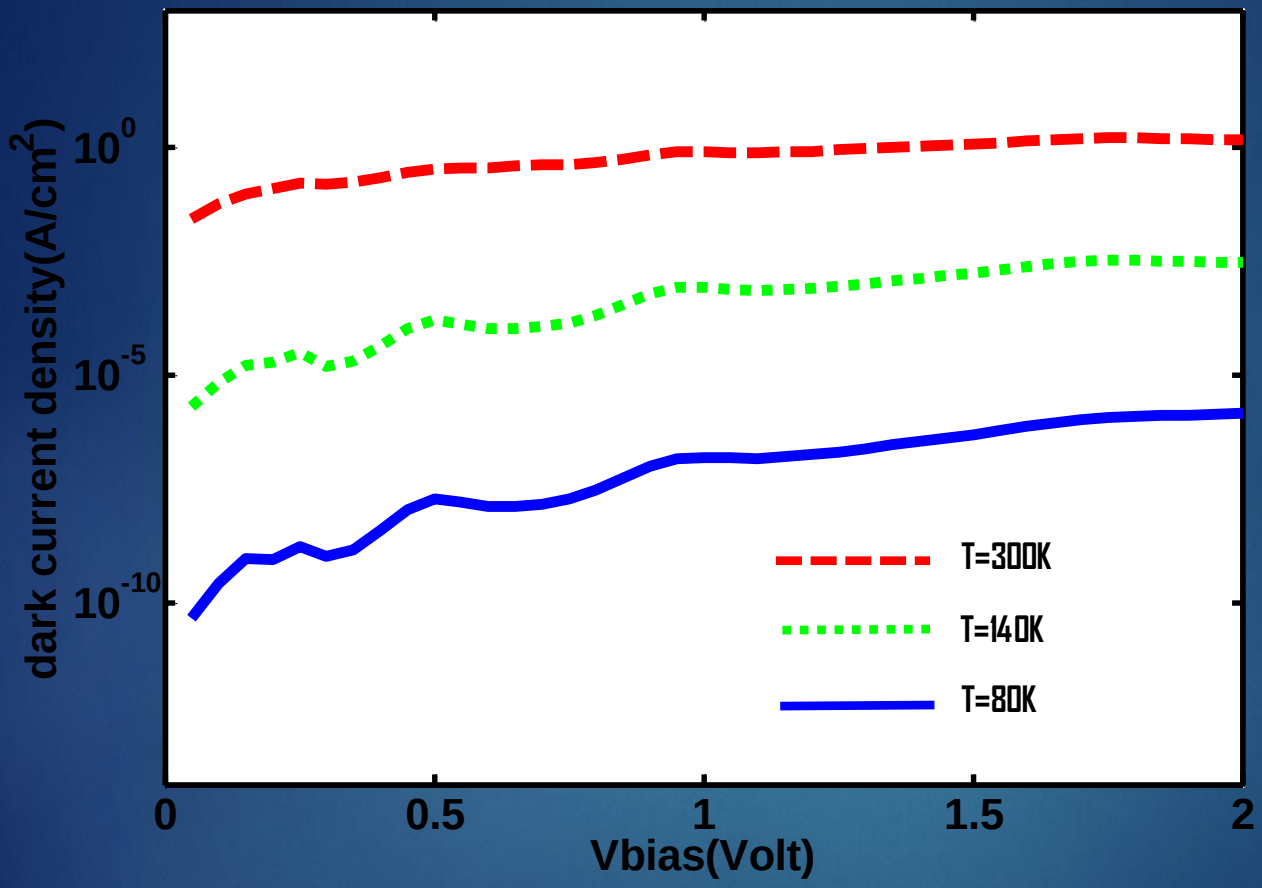
نمودار چگالی جریان تاریک بر حسب ولتاژ بایاس RT-DWELL

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



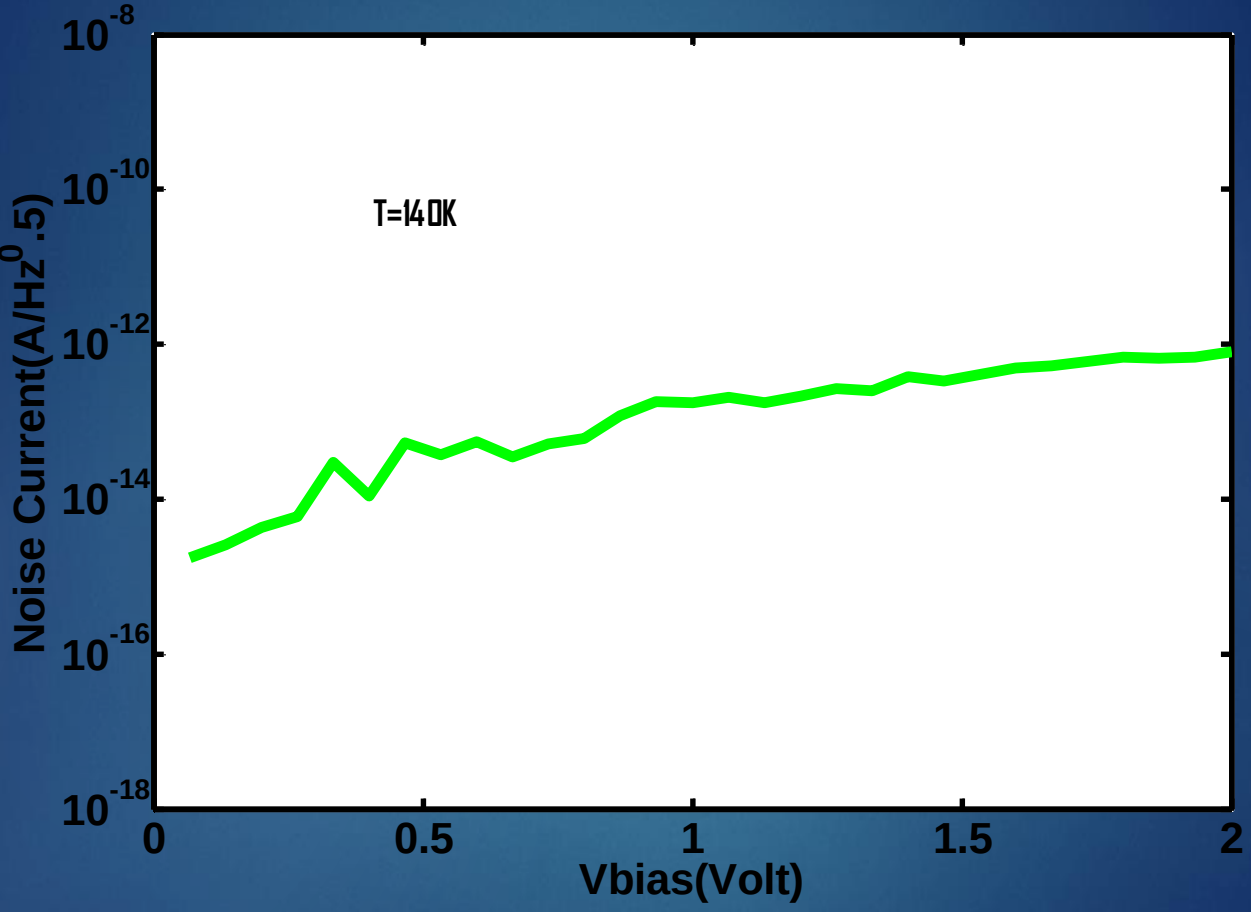
نمودار چگالی جریان تاریک بر حسب ولتاژ در دو ساختار QDIP و RT-DWELL

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



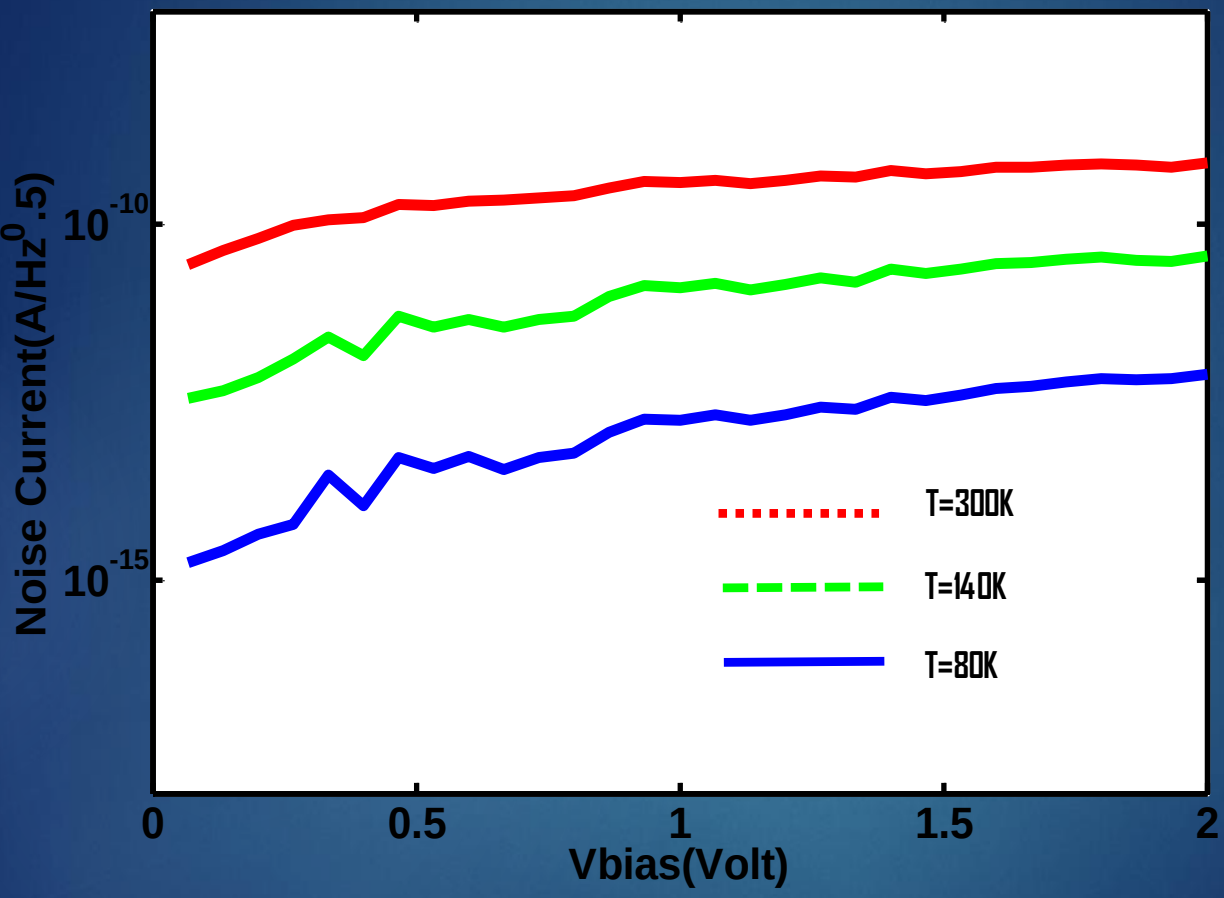
نمودار چگالی جریان تاریک بر حسب ولتاژ بایاس در ساختار RT-DWELL در چند دمای مختلف

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



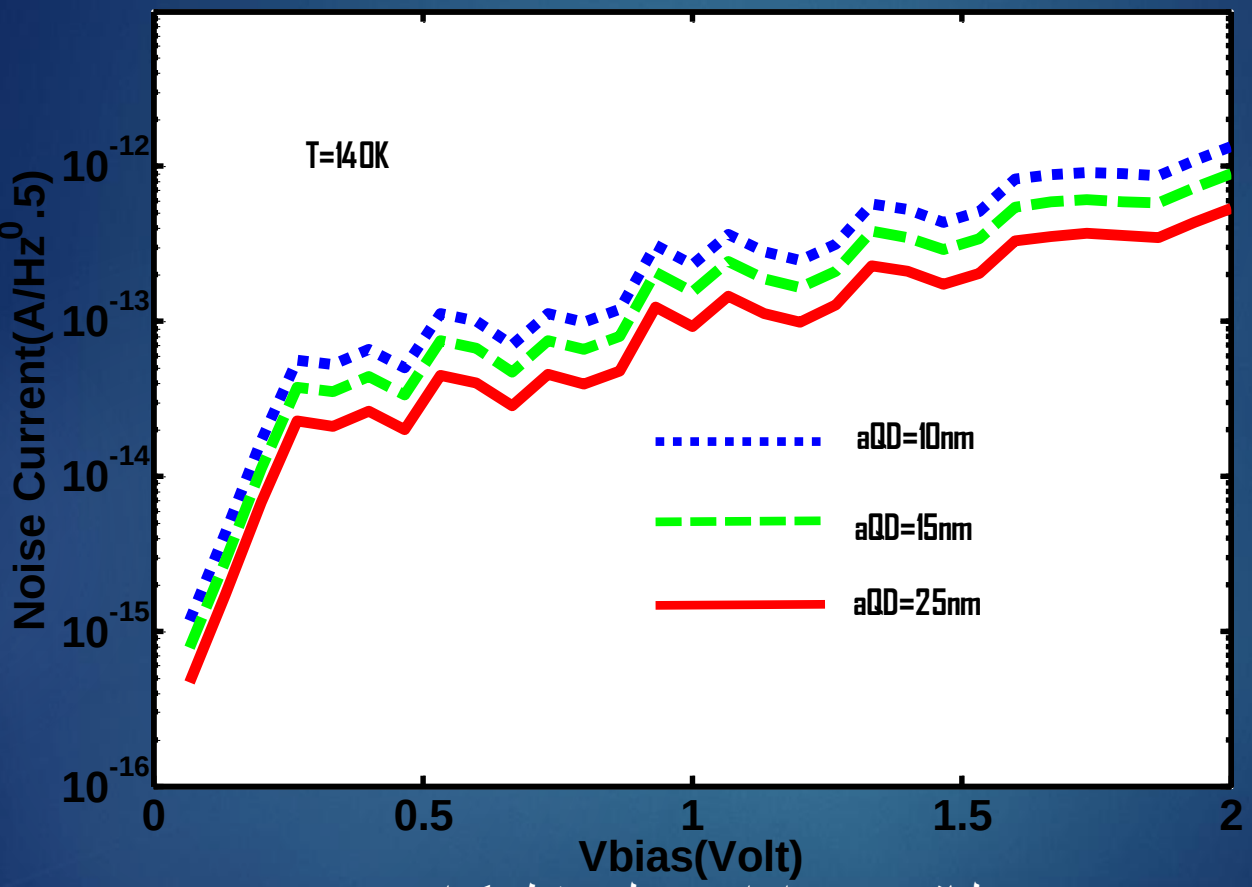
نمودار نویز بر حسب ولتاژ بایاس در ساختار RT-DWELL

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



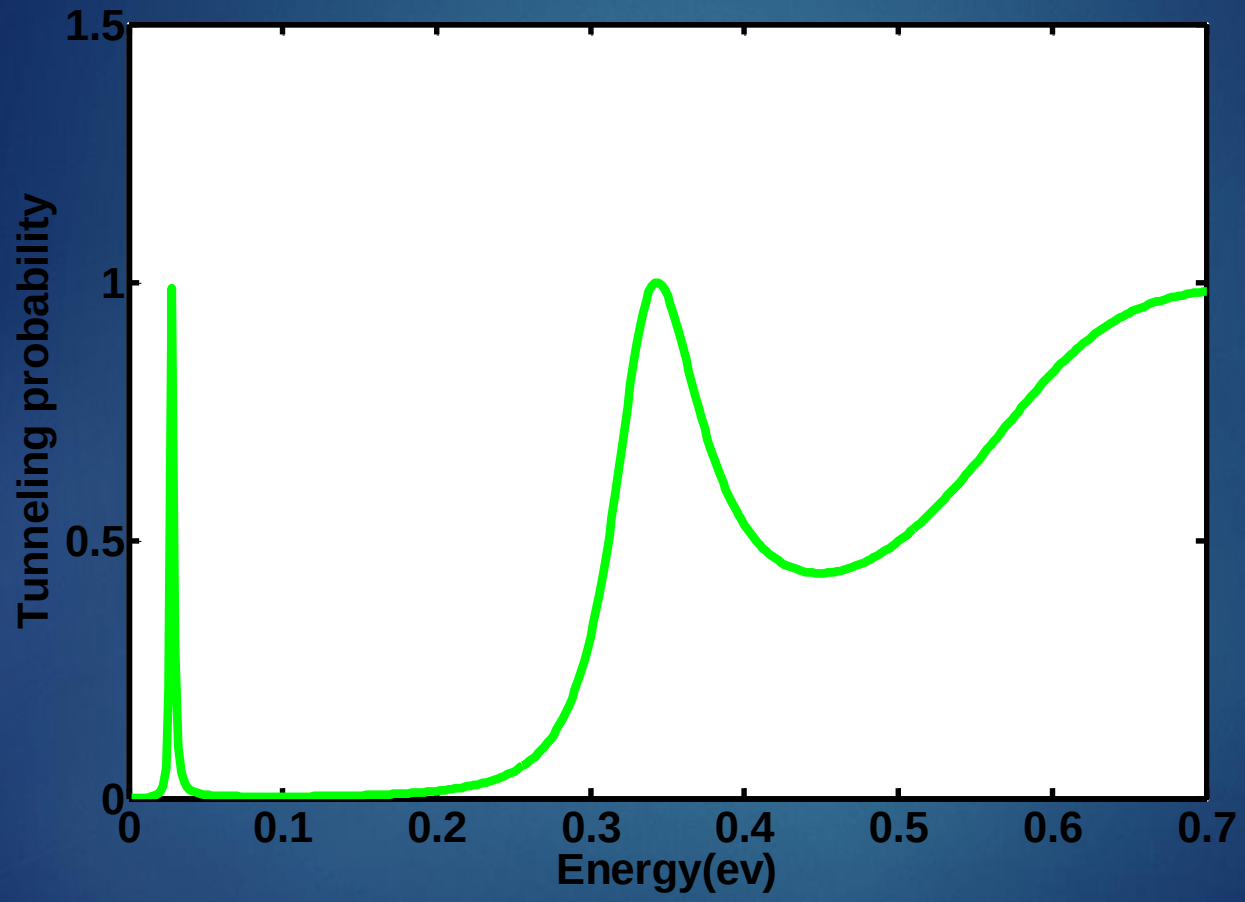
نمودار نویز بر حسب ولتاژ در چند دمای مختلف در ساختار RT-DWELL

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



نمودار نویز بر حسب ولتاژ در چند اندازه مختلف نقطه کوانتمی در RT-DWELL.

تاثیر نویز در آشکارساز RT-DWELL



نمودار احتمال عبور الکترون ها بر حسب انرژی در ساختار RT-DWELL

نتیجه گیری

- نویزجریان تاریک از پارامترهای اساسی آشکارسازها می باشد زیرا دمای عملکرد و حساسیت آشکارساز به طور مستقیم با هم مرتبط هستند.
- با توجه به محدودیت ها و پیچیدگی های روش های تحلیلی برای نویز آشکارسازها از روش های عددی به راحتی می توان ساختارهای پیچیده را حل کرد.
- یکی از روش های عددی روش ماتریس انتقال(TMM)می باشد که در این گزارش برای محاسبه نویز از آن بهره گرفته شد و تطابق خوبی بین نتایج بدست آمده با این روش و نتایج آزمایشگاهی وجود دارد.

پایان