Single Photon Detectors

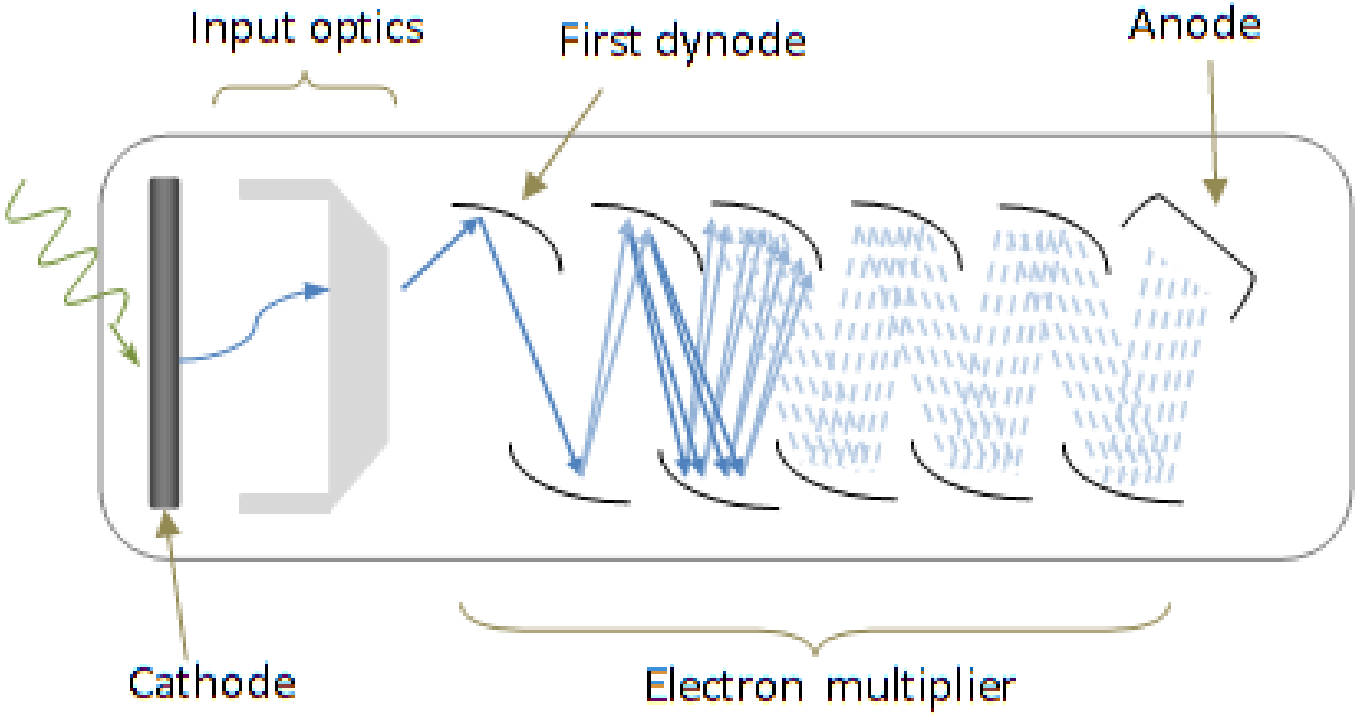
فهرست

- مقدمه
- تیوب های ضرب کننده فوتون photomultiplier tubes
- فوتودیودهای بهمنی نیمه رسانا semiconducting avalanche photodiodes
- آشکارسازهای نیمه رسانای نقطه کوانتومی semiconducting quantum dot detectors
- آشکارسازهای ابررسانا superconducting detectors
- نتیجه گیری
- منابع

مقدمه

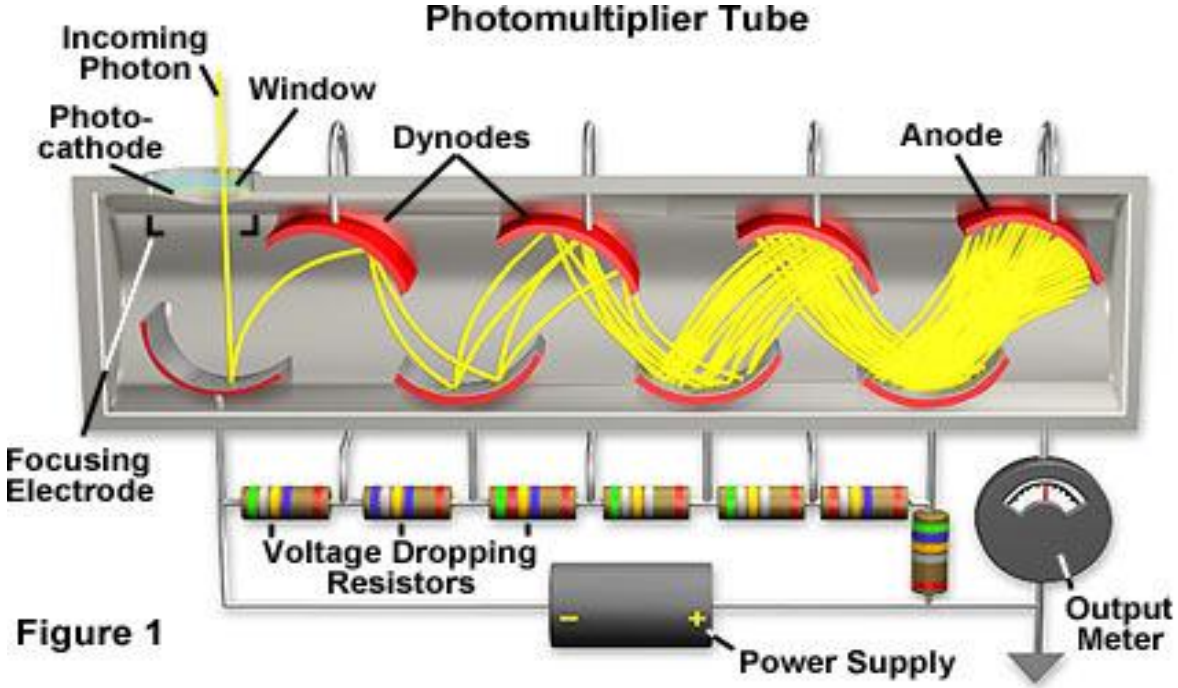
- در دنیای امروزبسیاری از کاربردهای پزشکی، تصویری، ارتباطی و نجومی نیاز به سرعت بالای آشکارسازی اطلاعات و نسبت سیگنال به نویز بالایی دارند. آشکارسازی و اندازه گیری مشخصات نور در این موارد بسیار مفید خواهد بود ولی باید توجه داشت که سرعت آشکارسازی یک شار نور معمولا بسیار پایین است و از این رو دانشمندان همواره به دنبال راهی هستند که بتوانند یک تک فوتون را آشکارسازی نمایند. فوتون کوچک ترین بسته یا واحد تابش در طبیعت است.

PHOTOMULTIPLIER TUBES تیوب های ضرب کننده فوتون

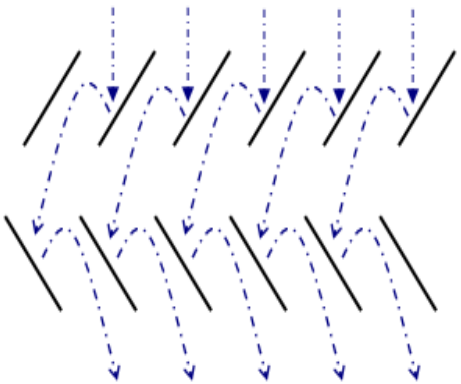


تیوب های ضرب کننده فوتون

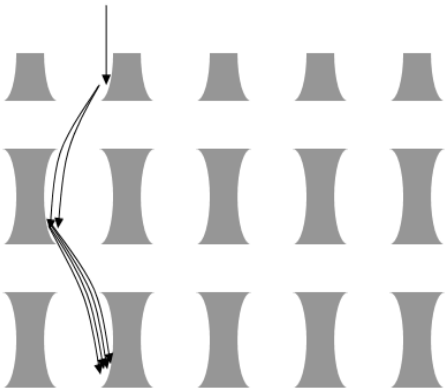
- فوتوکاتد عنصری است که فوتون را به الکترون تبدیل میکند.
- سیستم ورودی الکترون_نوری الکترون های گسیل یافته را متمرکز می سازد
- ضرب کننده ی الکترون آبشاری از الکترون ها ایجاد خواهد کرد.



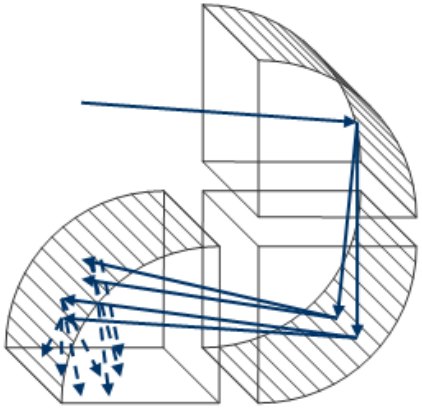
چند نوع از ساختارهای DYNODE



(a) Venetian blind



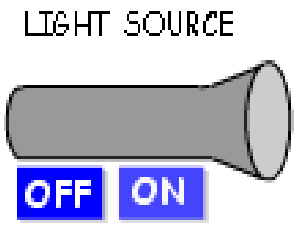
(b)Foil

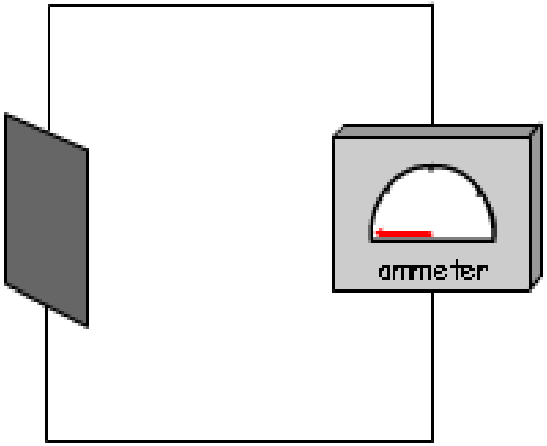


(c)Box

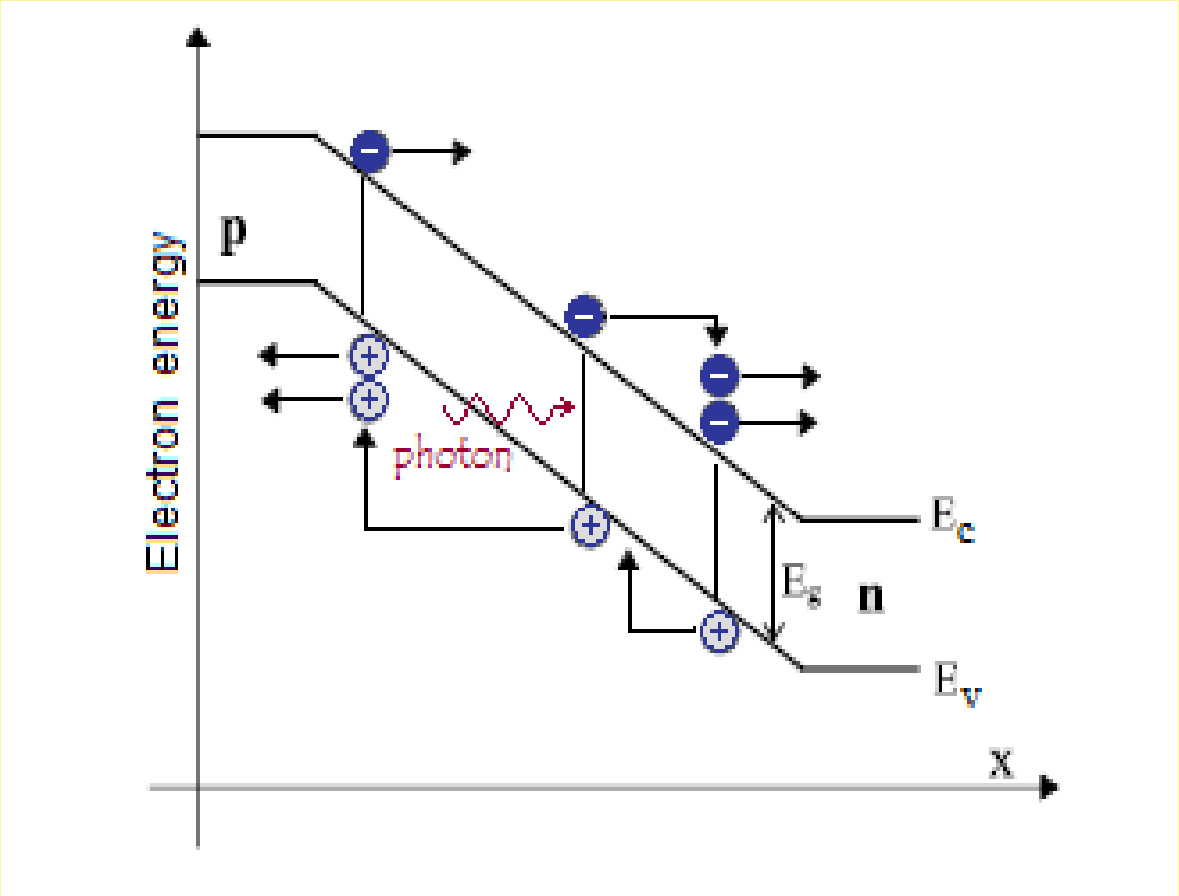
مزایا و معایب

- این روش بیشتر برای شار نوری استفاده می شود و برای آشکارسازی یک تک فوتون دچار مشکلات زیادی می شود. همچنین طول موج عملکرد این آشکارسازها (235-800 nm) مناسب برای استفاده در مخابرات نوری نمی باشد (1300-1500 nm).

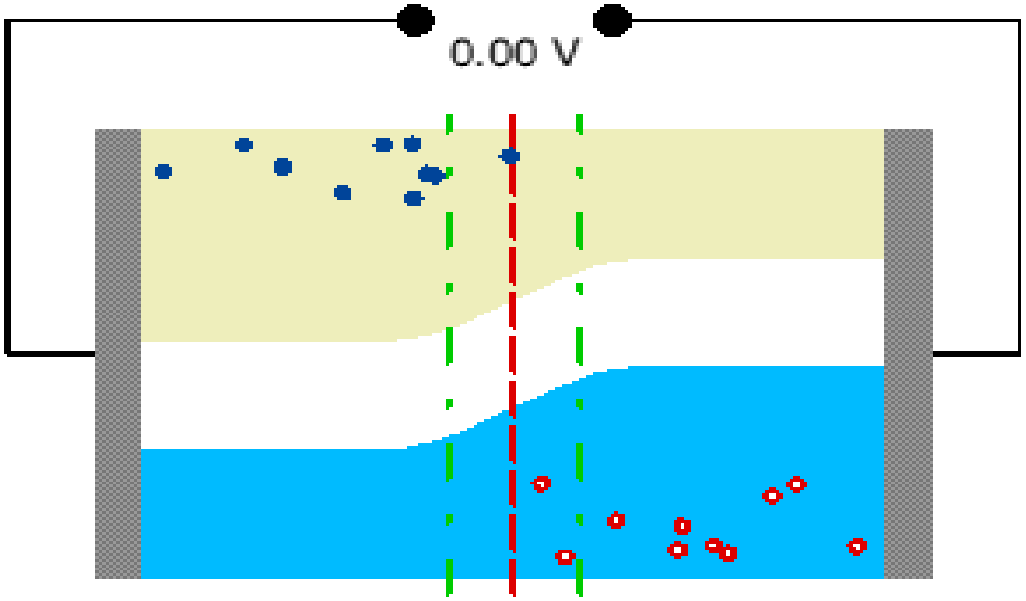




semiconducting avalanche photodiodes فوتودیودهای بهمنی نیمه رسانا



فوتودیودهای بهمنی نیمه رسانا



When we bring P-type & N-type together a depletion zone is created around the junction This produces a barrier, blocking charge flow.

© J. C. G. Lesurf Univ. St. Andrews

فوتودیودهای بهمنی نیمه رسانا

این قطعه شامل یک دیود نوری با بایاس منفی بسیار بالا است که حامل ها را با انرژی زیادی شتاب می دهد تا این حامل ها بتوانند در برخورد با سایر اتم ها زوج های الکترون_حفره جدیدی را تولید کنند که این فرآیند ضربه ی یونیزاسیون (impact ionization)نام دارد. هنگامی که یک فوتون در یک نیمه رسانا جذب می شود یک زوج الکترون_حفره ایجاد می کند. این الکترون تحت میدان الکتریکی شدید نیمه هادی شتاب میگیرد, اگر انرژی این الکترون بیشتر از انرژی شکاف باند نیمه هادی باشد, این الکترون قادر است الکترون دیگری را آزاد نماید. این دو الکترون مجدد از میدان الکتریکی انرژی میگیرند و دوباره با نیمه هادی برخورد می کنند و الکترون های دیگری را آزاد می نمایند و...

مدارهای محدود کننده (quenching circuits)به منظور کنترل فرآیند بهمنی برای جلوگیری از تخریب فوتودیود طراحی می شوند.

فوتودیودهای بهمنی نیمه رسانا

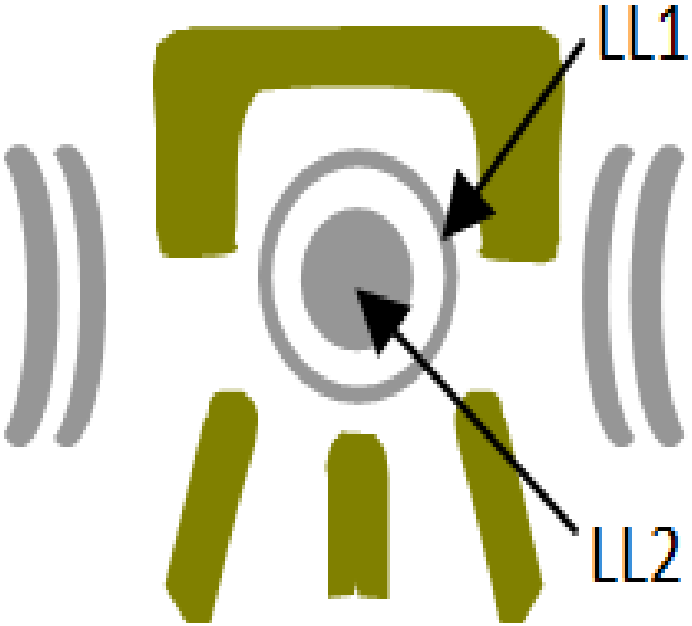
- بازده در InGaAs بالای 10% و در سیلیکون بالای 70% خواهد شد ولی باید توجه داشت که میزان نویز نیز بسیار بالا خوهد رفت.
- یک APD از جنس سیلیکون دارای (dark-counting rate) بین ۱۰ تا ۱۰۰ (dark counts per second) و در InGaAs, InP در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ می باشد.

آشکارسازهای نیمه رسانای نقطه کوانتومی semiconducting quantum dot detectors

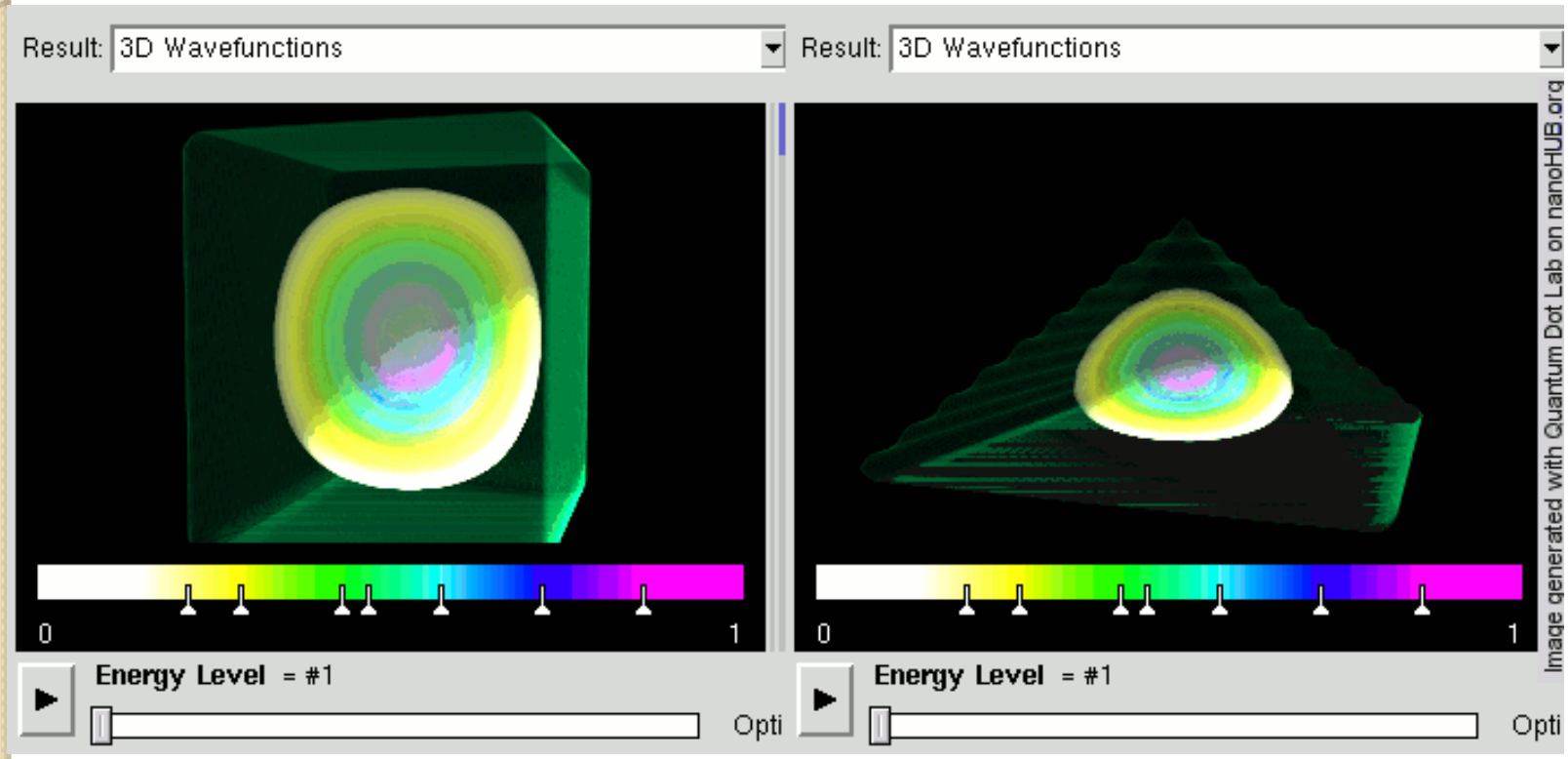
- یک نقطه کوانتومی در واقع یک چاه کوانتومی است که حرکت یک ذره باردار با ابعاد نزدیک به صفر(معمولا الکترون) را محدود می کند.
- هنگامی که چاه کوانتومی در معرض یک میدان مغناطیسی بزرگ قرار گرفته باشد, چاه های کوانتومی اصلی که به صورت گسسته هستند تشکیل ۳ تا ۴ حالت پیوسته به نام سطوح لاندا (Landau levels) را می دهند.

آشکارسازهای نیمه رسانای نقطه کوانتومی

- ایده آشکارسازی یک تک فوتون با نقطه ی کوانتومی این است که یک نقطه ی کوانتومی با طول بلند را در یک میدان مغناطیسی بزرگ قرار دهیم که سبب کاهش پتانسیل چاه شود. این وضعیت سبب ایجاد حداقل ۲ سطح انرژی لاندا می شود, که مدار پایین تر را LL1 و اولین حالت برانگیخته LL2 نام دارد. که به یکی حلقه های خارجی و به دیگری هسته ی درونی گفته می شود .

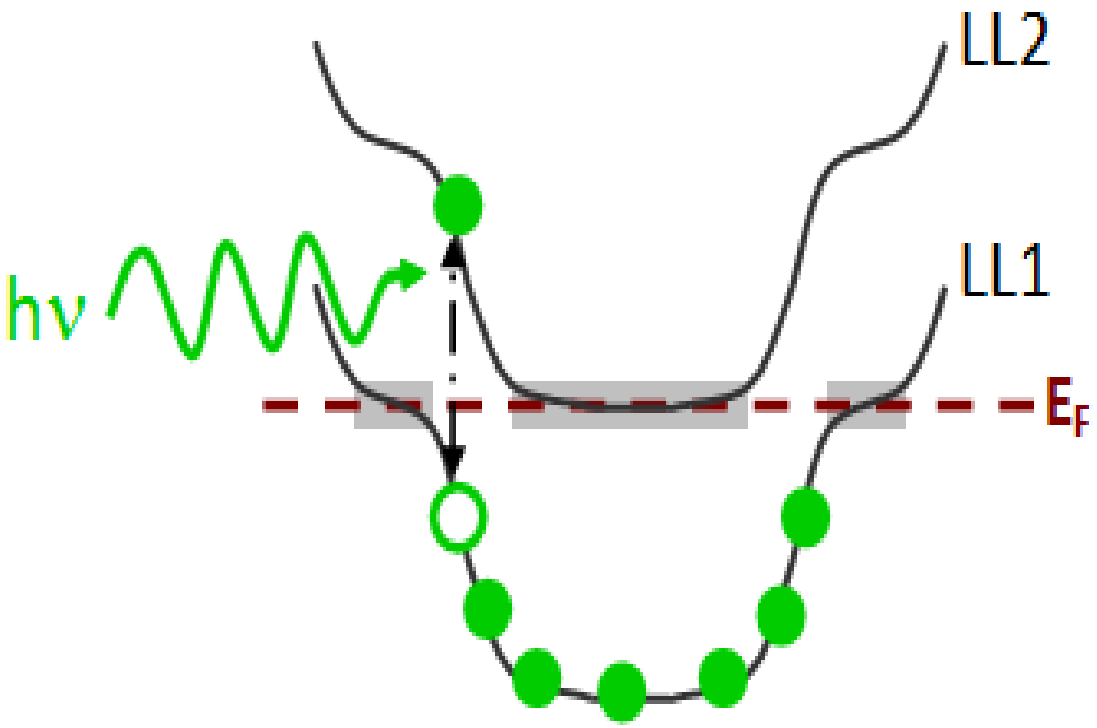


آشکارسازهای نیمه رسانای نقطه کوانتومی

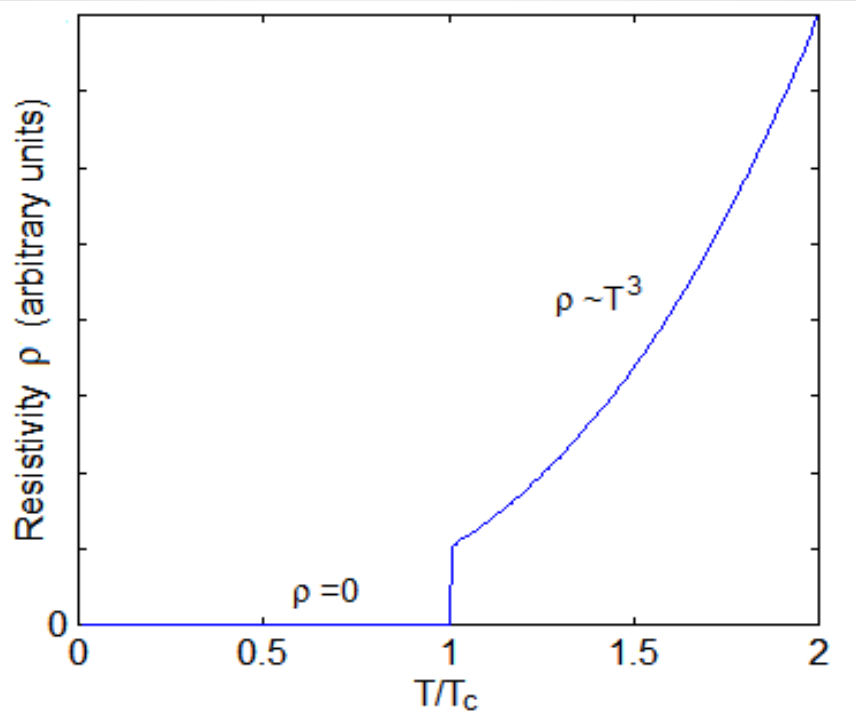


آشکارسازهای نیمه رسانای نقطه کوانتومی

هسته ی داخلی با داشتن یک الکترون اضافی با بار منفی سبب پولاریزاسیون نقطه ی کوانتومی می شود. این تغییر در هسته ی داخلی سبب ایجاد یک جریان خارجی می شود که تا زمانی که الکترون در LL2 قرار دارد مانند یک کلید روشن عمل می کند.

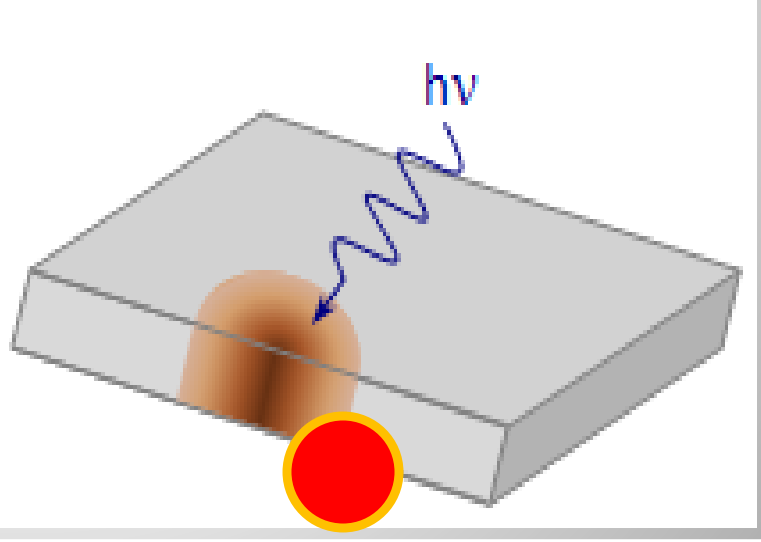


- ابررسانایی هنگامی اتفاق می افتد که مقاومت الکتریکی در دمایی به غیر از صفر به طور چشمگیری کاهش یابد. این دما را دمای بحرانی می نامند. این میزان کاهش مقاومت به قدری زیاد است که می توان مقاومت ماده را صفر درنظر گرفت.



آشکارسازهای ابررسانا superconducting detectors

- زمانی که یک فوتون با انرژی کافی به ابررسانا برخورد می کند, الکترون رها شده به دلیل انرژی زیادی که دارد یک توده بهمنی از شبه ذره ها(الکترون-حفره) ایجاد میکند. اگر غلظت این شبه ذره ها از حالت تعادل خارج شود, گاف انرژی از بین رفته و خاصیت ابررسانایی از بین می رود ورفتار رسانایی در آن ناحیه ایجاد می شود. این ناحیه را نقطه ی داغ (Hot Spot) می نامند. این خاصیت مانند حالت کلیدزنی است که بیشتر مواقع این کلید باز است و هنگامی که یک تک فوتون می رسد و تولید یک نقطه ی داغ می کند این کلید بسته در نظر گرفته می شود.



آشکارسازهای ابررسانا

نتیجه گیری

- در عرصه ی آشکارسازهای تک فوتون, تیوب های photomultiplier عملکرد خوبی در رنج نور مرئی دارند, و بازده تا 28% نیز می تواند باشد. در دهه های اخیر مشخصات هندسی آنها بسیار بهبود یافته است ولی این آشکارسازها همچنان در ساختار فیزیکی خود دچار مشکل می باشند.
- APDها بیشتر در محدوده ی طیف near-infrared کار می کنند. یکی از مشکلات آنها dark count rate آنهاست که مقدار قابل توجهی است. بازده آنها از 10% در InGaAs تا 70% در سیلیکون می باشد. به منظور کاهش نرخ شمارش تاریکی و بهبود بازده باید ملاحظاتی در طراحی آن ها مدنظر قرار گیرد.
- آشکارساز نقطه کوانتومی تقریبا تکنیک جدیدی به حساب می آید. طیف کاری این آشکار ساز far-infrared می باشد . دمای عملکرد آنها پایین و در حدود T=0.4 K است و باید برای افزایش بازده در آنها از بهینه سازی نوری استفاده شود.
- آشکارسازهای ابررسانا نیز در دماهای بسیار پایین عمل می کنند (T=5 K). بازده آنها 67%است و طیف عملکرد آنها نور مرئی و near-infrared است. با کاهش دما میزان dark count rate تا حد قابل توجهی کاهش میابد. این روش در سال های آینده با پیشرفت تکنولوژی می تواند بهترین روش آشکارسازی تک فوتون باشد.

منابع

- Single Photon Detectors-David Alfonso
- Single photon generation and detection technology- sae woo nam- National Institute of Standards and Technology
- A single photon detector inspired by the human eye- Omer Gokalp Memis and Hooman Mohseni
- New photon detector for device analysis: Superconducting single-photon detector based on a hot electron effect-Seema Somani,Steven Kasapi, Kenneth Wilsher, and William Lob

با تشکر