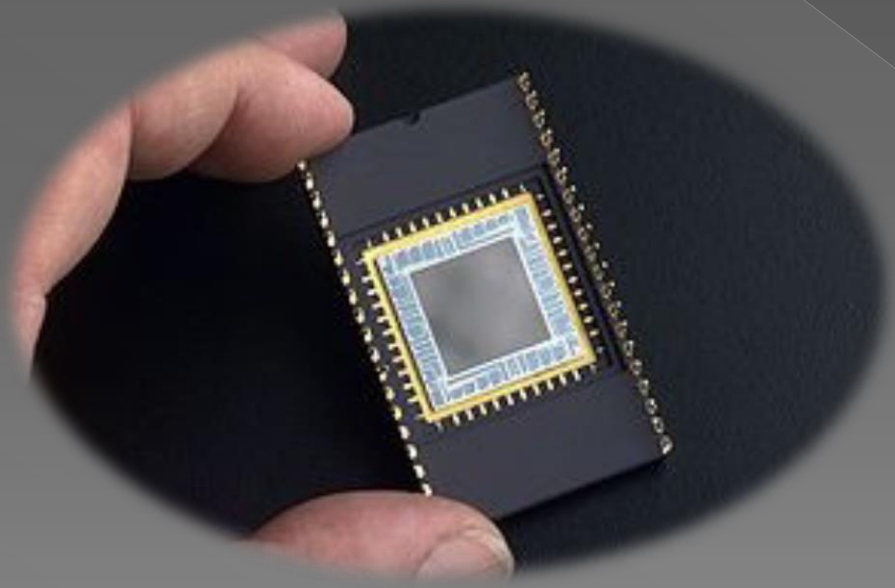
دستگاه جفت کننده ی بار

Charge-Coupled Device



مقدمه

- دستگاه جفت کننده بار (CCD) در حالت کلی یک شیفت رجیستر برای جابجایی بار الکتریکی بین دستگاه با محلی است که بتوان روی آن پردازش انجام داد.
- در عمل CCD را به همراه یک سنسور تصویر به صورت مجتمع در می آورند و از آن به عنوان یک حسگر تصویر برداری استفاده می شود.
- این دستگاه را دستگاه رنگ بردار نیز می نامند.

(Color Capture Device)

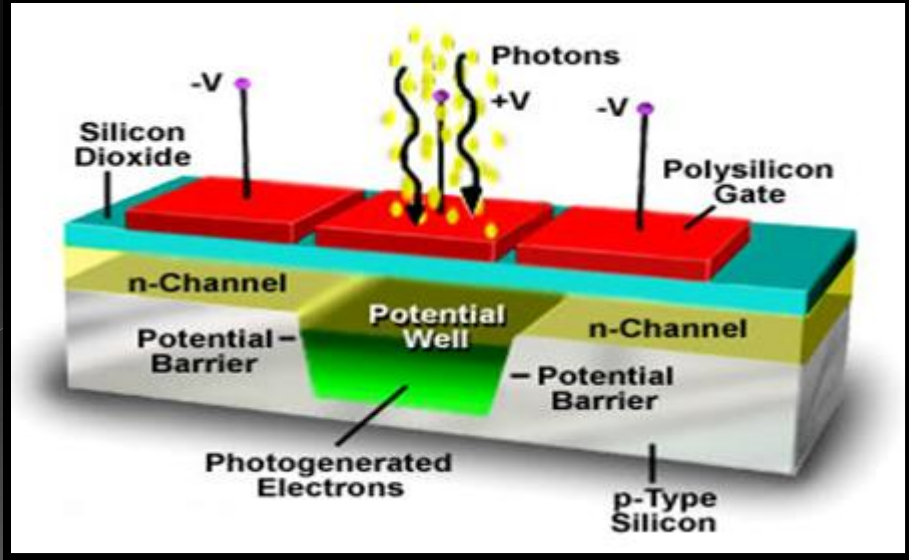
تاریخچه

- ساختار اولیه CCD در سال ۱۹۶۹ توسط ویلارد بویل (Willard Boyle) و جورج اسمیت (George E.Smith) در آزمایشگاه بل (Bell) پیشنهاد شد.
- شرکتهای مختلفی از جمله Texas Instrument و Fairchild Electronics شروع به توسعه ی دستگاه نمودند. اولین CCD مربوط تصویر برداری با فرمت ۱۰۰*۱۰۰ پیکسل در سال ۱۹۷۴ توسط شرکت Fairchild Electronics ساخته شد.
- بویل و اسمیت به خاطر این اختراع برنده ی نیمی از جایزه نوبل فیزیک در سال ۲۰۰۹ شدند.

Metal Oxide Semiconductor

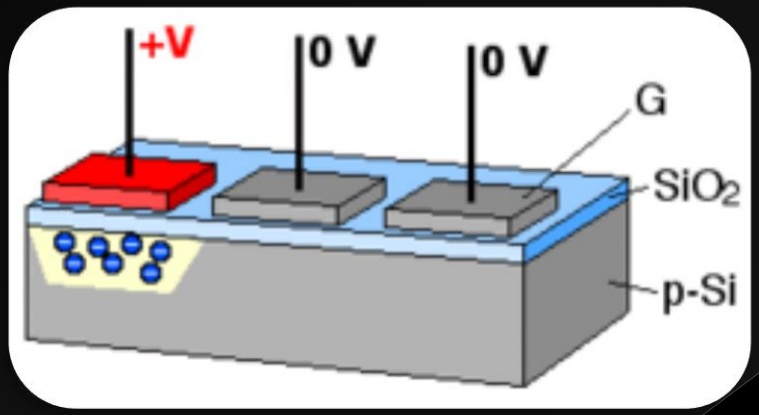
خازن MOS

- خازن MOS بلوک اصلی CCD را تشکیل می دهد که به صورت یک گیت نمایان است و با تغییر ولتاژ این گیت می توان بار را ذخیره یا منتقل کرد.
- تولید بار در اکثر قطعات توسط یک خازن MOS صورت می گیرد که فوتوگیت نیز نامیده می شود. بعد از تولید بار، انتقال برای تمام قطعات در خازنهای MOS اتفاق می افتد.

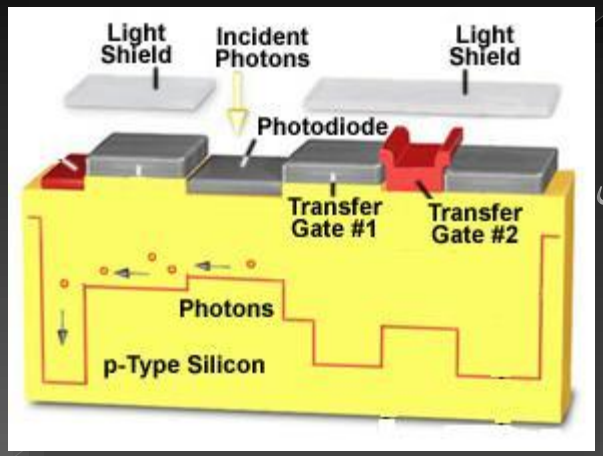


اساس کار

- اساس کار CCD ذخیره و پس گیری بار به شکل دینامیکی در رشته ای از خازنهای MOS است.
- یک خازن MOS وقتی پالس مثبتی به آن وارد می شود یک پتانسیل زیر الکترود گیت آن بوجود می آید که نقش یک چاه پتانسیل را دارد و از آن برای ذخیره بار استفاده می شود.

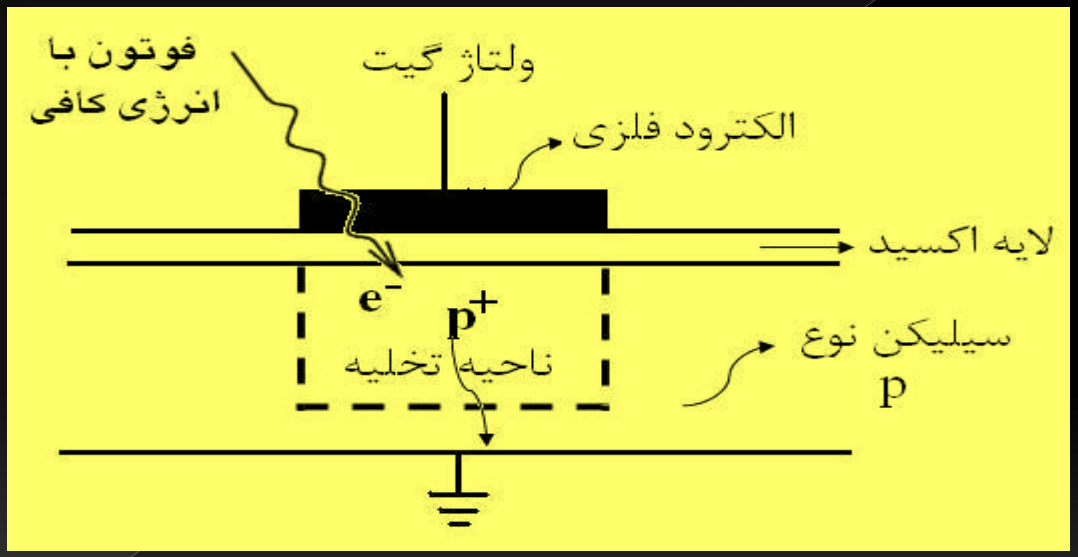


- برای تصویر کردن صحنه روی ناحیه حساس به نور آرایه نیازمند یک سیستم نوری هستیم. در حالت عمومی تر هر CCD از تعداد زیادی فوتو دیود تشکیل شده است که در واقع نقش همان حسگرهای حساس نوری را دارند که اطلاعات نوری را به بار الکتریکی تبدیل می نمایند. وقتی به فوتو دیود ولتاژ اعمال می شود سیلیکان زیر آن پذیرای الکترونهای آزاد شده می شود و همانند یک خازن عمل می کند.



نحوه عملکرد بلوک های CCD

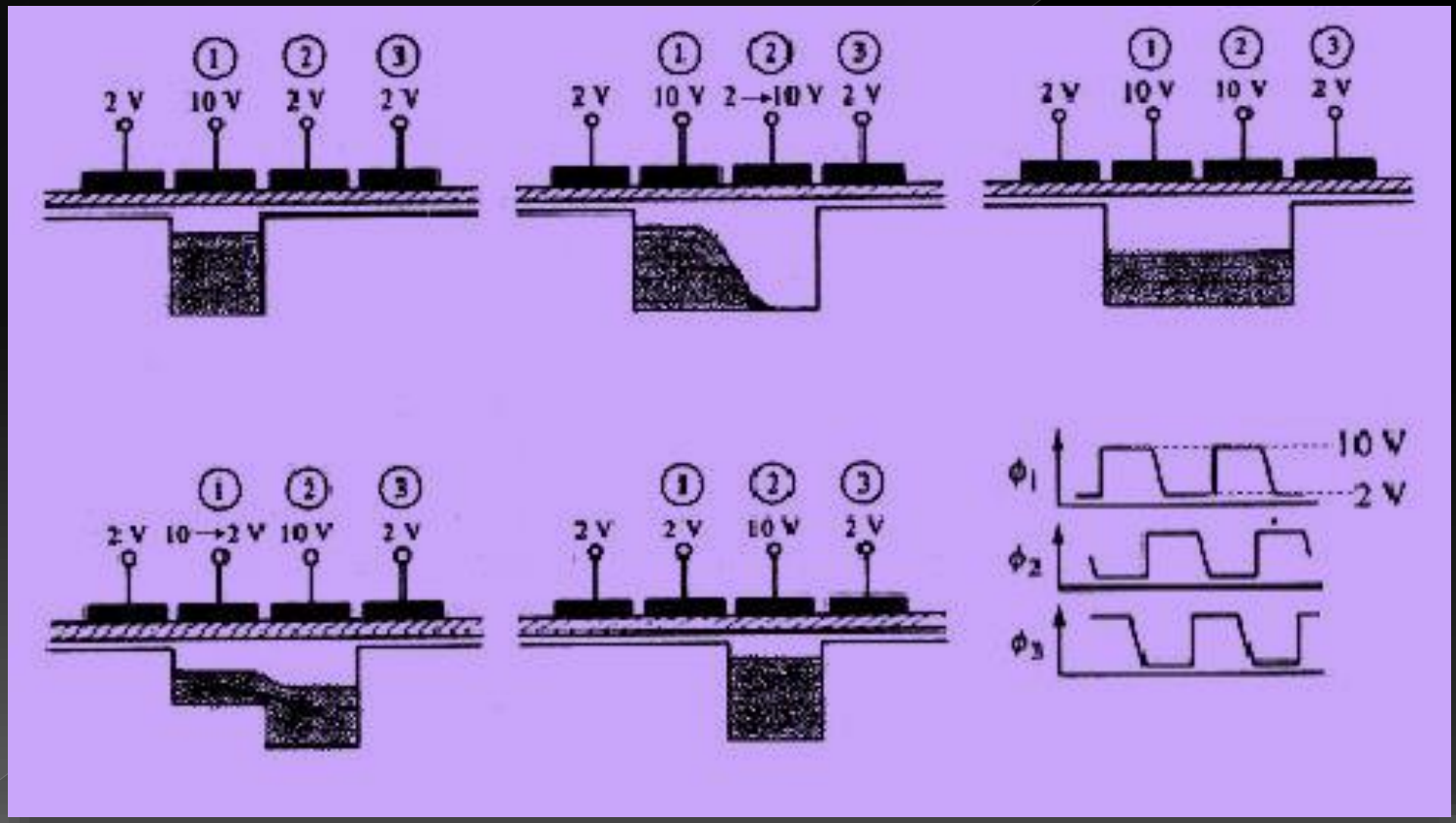
• با اعمال ولتاژ مثبت به گیت CCD حاملهای نوع P در سیلیکان به سوی الکترود زمین حرکت کرده یک ناحیه تخلیه در زیر گیت تشکیل می دهند.



• اگر فوتونی که انرژی بیشتری از گاف انرژی داشته باشد در ناحیه تخلیه جذب شود یک زوج p-e ایجاد می کند که الکترون در ناحیه تخلیه باقی می ماند ولی حفره به سمت الکترود زمین حرکت خواهد کرد. به تعداد الکترونهایی که می توانند ذخیره شوند ظرفیت چاه گویند که به ولتاژ اعمالی، ضخامت اکسید و مساحت الکترود گیت بستگی دارد.

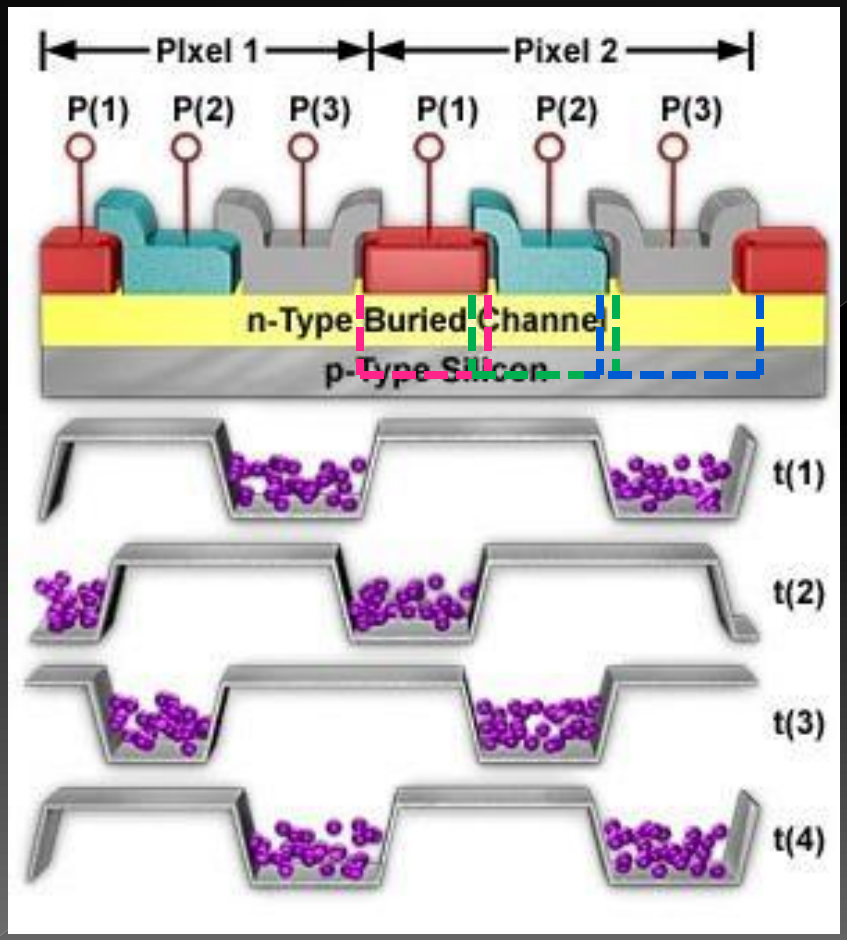
انتقال بار بین دو چاه

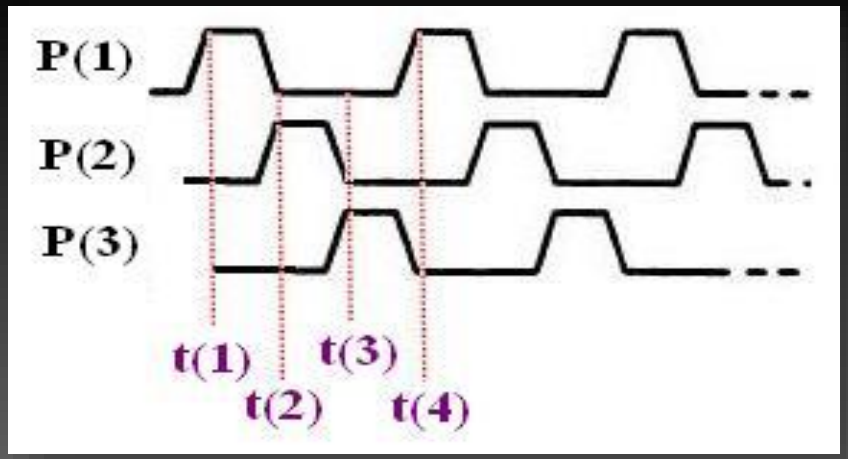
- در ابتدا تمام بار در چاه ۱ قرار دارد. با اعمال ولتاژ high به گیت ۲ بارها به سمت چاه ۲ حرکت کرده و تعادل بار صورت می گیرد. کاهش ولتاژ گیت ۱ به low باعث انتقال تمامی بارها به چاه ۲ می شود.

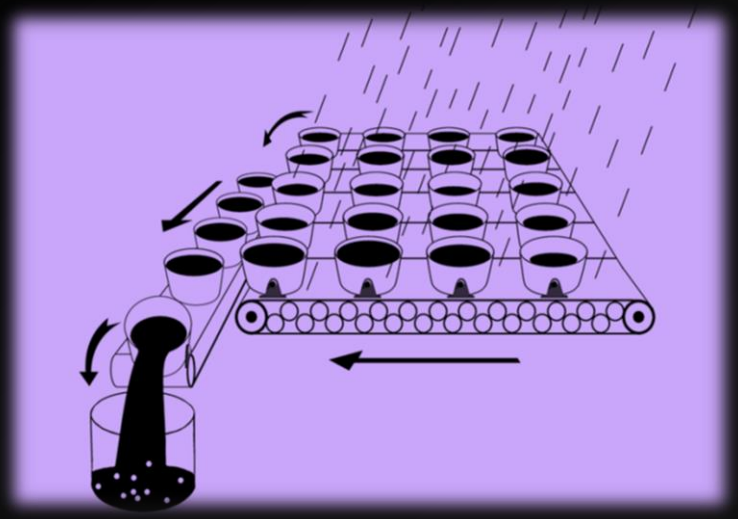


یک ثبات CCD سه فاز

- هر سه گیت یک پیکسل را تشکیل می دهند. گیت ها طوری تعبیه شدند که برای انتقال بهتر بار نواحی تخلیه با یکدیگر هم پوشانی داشته باشند.
- هر گیت ولتاژ کنترلی دارد که به آن سیگنال ساعت گفته می شود. وقتی سطح ولتاژ پایین باشد مانند یک سد عمل خواهد کرد و وقتی ولتاژ بالاست در نقش چاه می تواند بار ذخیره کند.

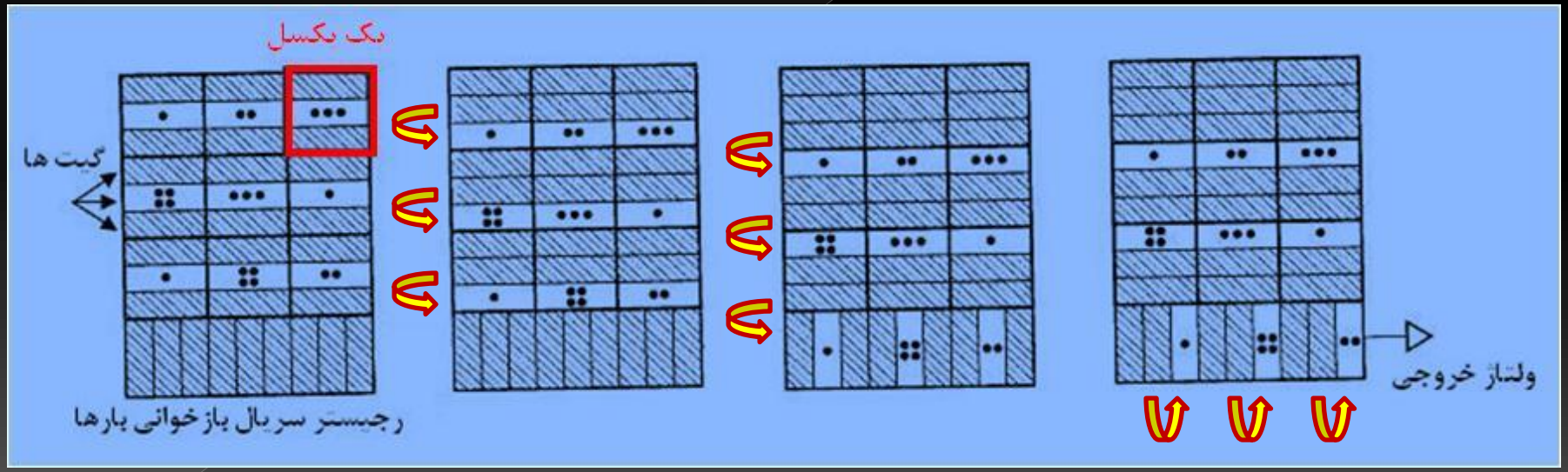






یک CCD سه فاز

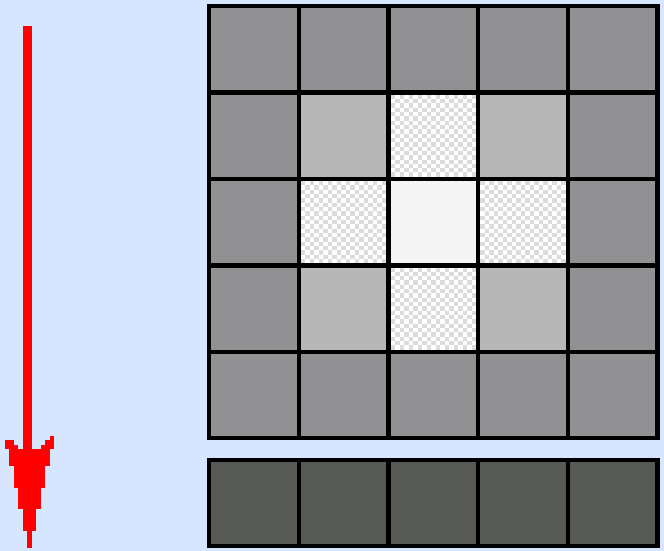
- یک آرایه ۳*۳ توسط سه ستون از ثبات CCD سه فاز تشکیل می شود که در انتهای این ستونها یک ثبات افقی از پیکسلها برای بازخوانی بارها وجود دارد.



- داده ها پس انتقال بصورت عمودی، در سطر آخر به رجیستر سریال خروجی می رسند که در آنجا پس از تبدیل به سیگنال آنالوگ و تقویت توسط ADC به مقادیر دیجیتال تبدیل می شوند.

یک CCD پنج فاز

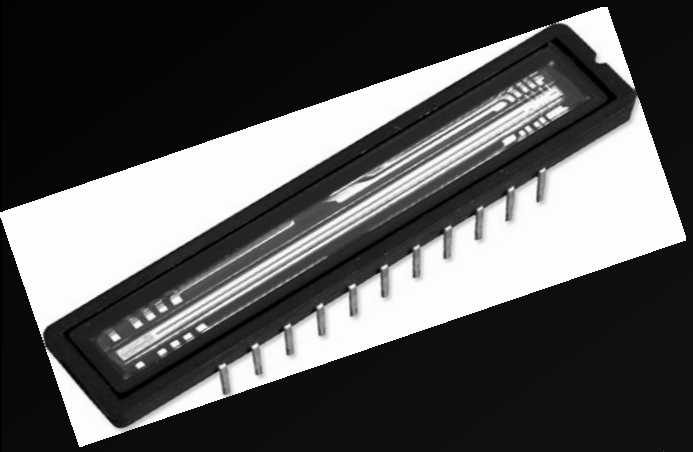
Clocking Parallel Register



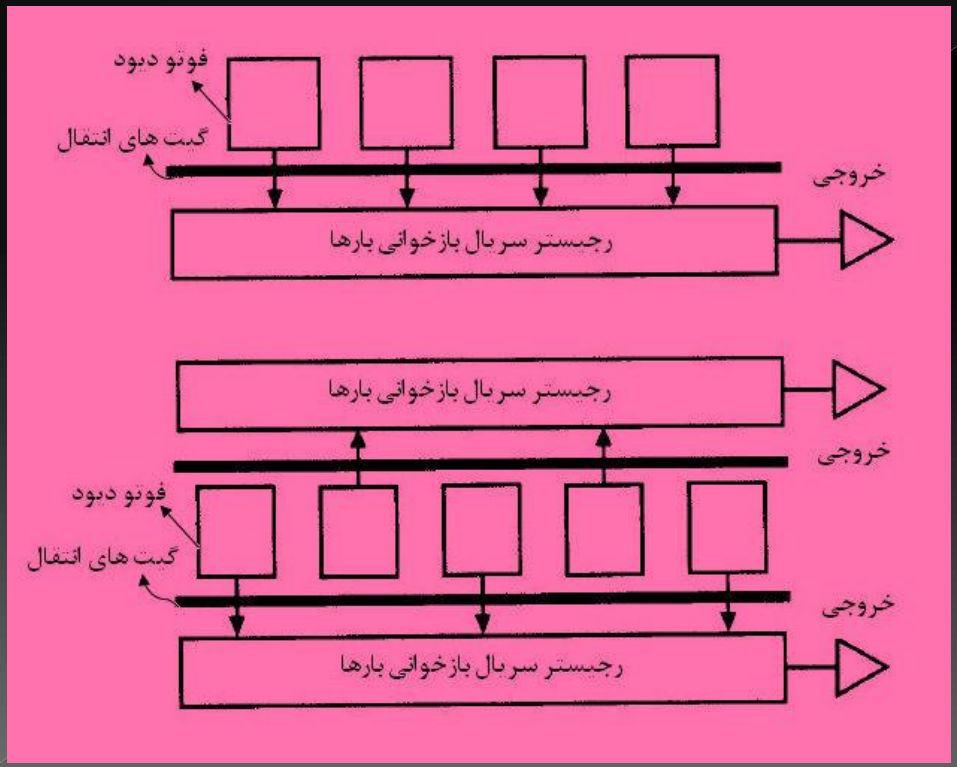
معماری ها

- آرایه های خطی — Linear Arrays
- تمام فریم — Full Frame
- انتقال فریم — Frame Transfer
- میان سطری — Interline

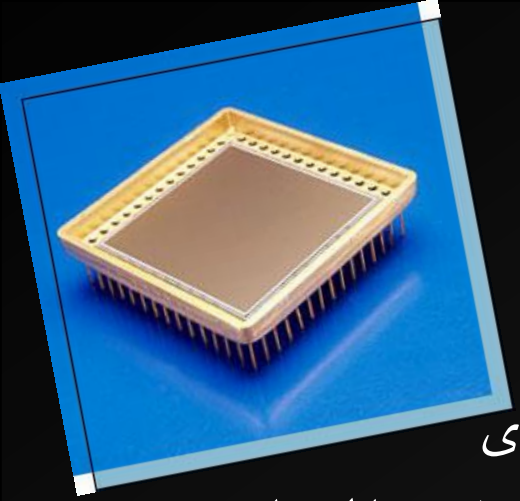
آرایه های خطی



- ساده ترین ساختار برای CCD آرایه خطی یا یک سطر آشکارسازها است که معمولا در کاربردهایی استفاده می شود که در آن یک حرکت افقی یا عمودی وجود دارد.

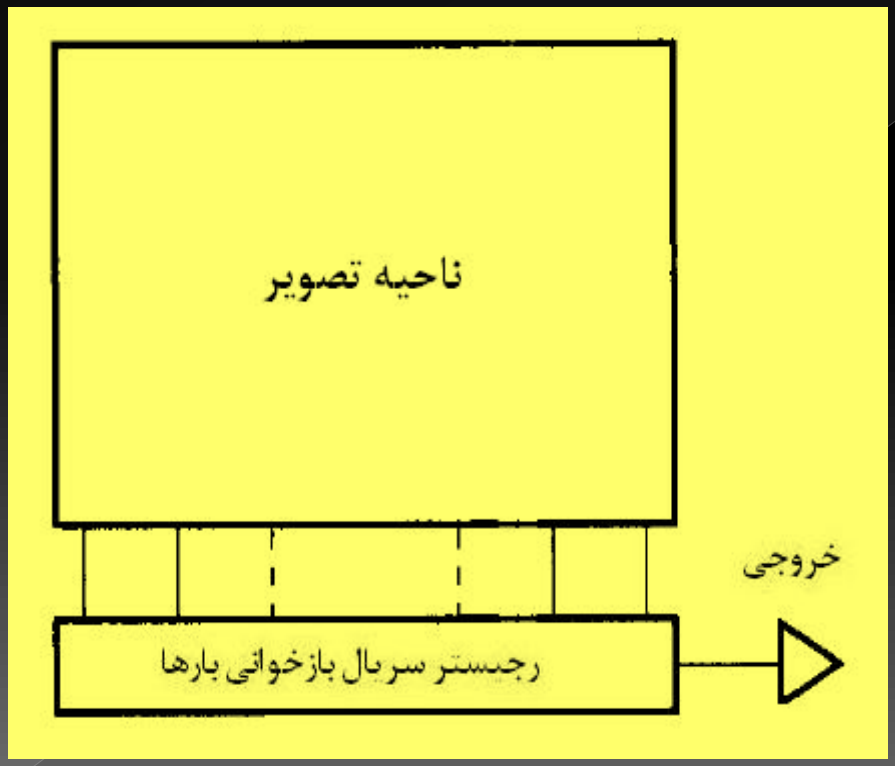


- مثلا در اسکن کردن اسناد، چون نیازی به کنترل خیلی دقیق نیست از این سیستم استفاده می کنیم.



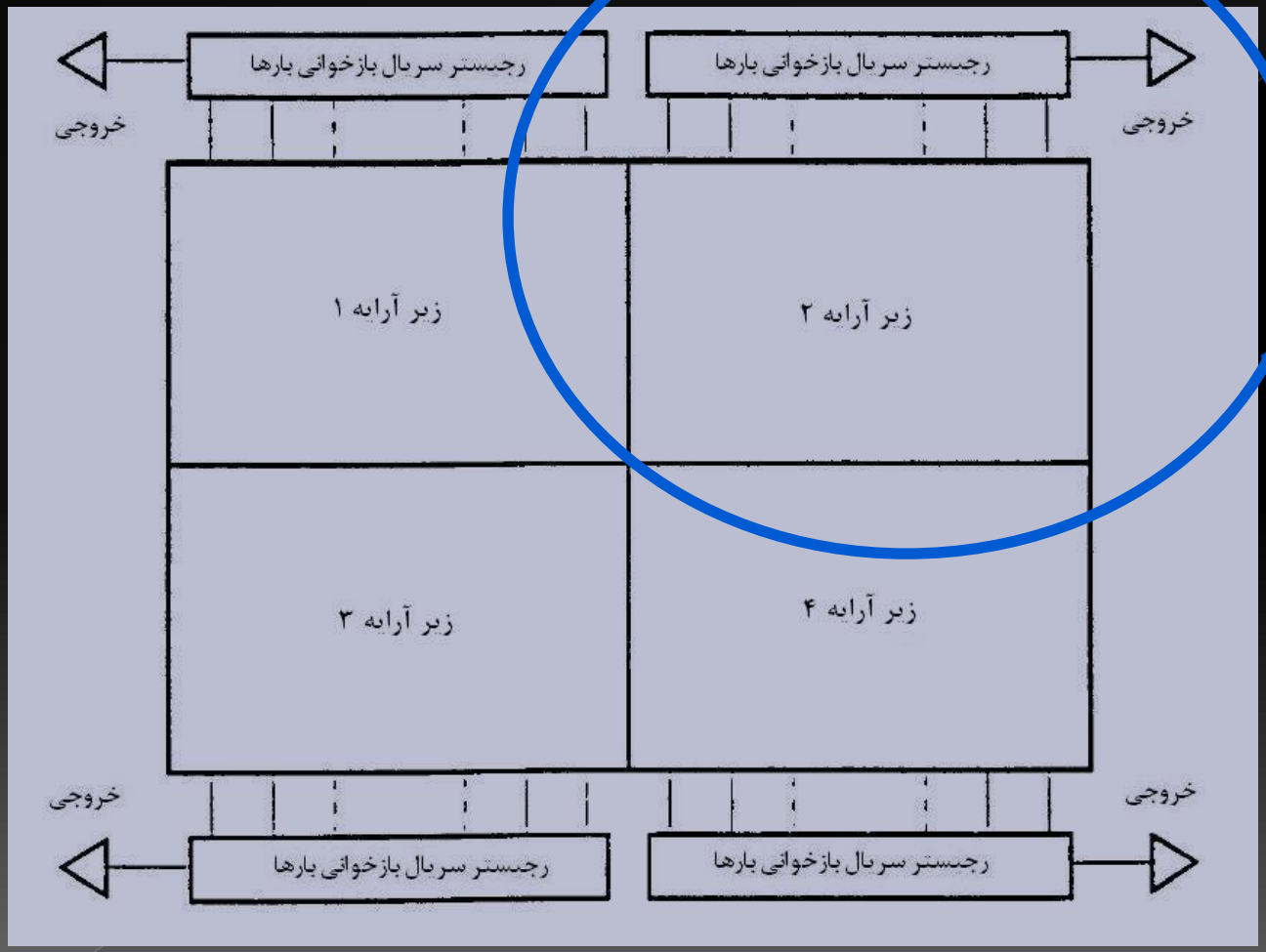
تمام فریم

- معروف ترین معماری برای CCD ها است که در کاربردهای تصویر برداری از آن استفاده می شود. در این ساختار از کل ناحیه CCD برای آشکارسازی فوتونها استفاده می شود.

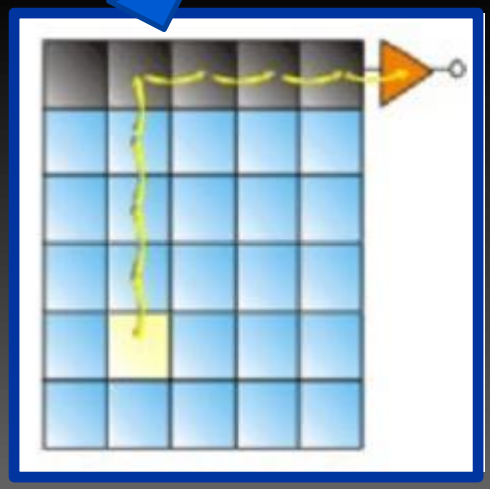


- در صورتی که زمان تابش بسیار بلندتر از سرعت بازخوانی باشد امکان لکه دار شدن تصویر بسیار کم است. معماری تمام فریم دارای ضریب پوششی ۱۰۰ درصد است، به این معنا که ۱۰۰ درصد مساحت هر پیکسل را برای آشکار سازی فوتون استفاده می کند و از آنجایی که پیکسلها مربعی هستند تصویر تخریب نمی شود.

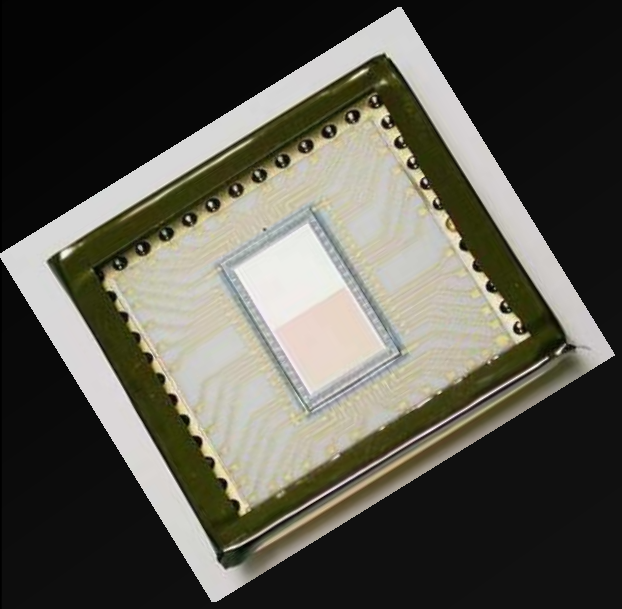
تمام فریم



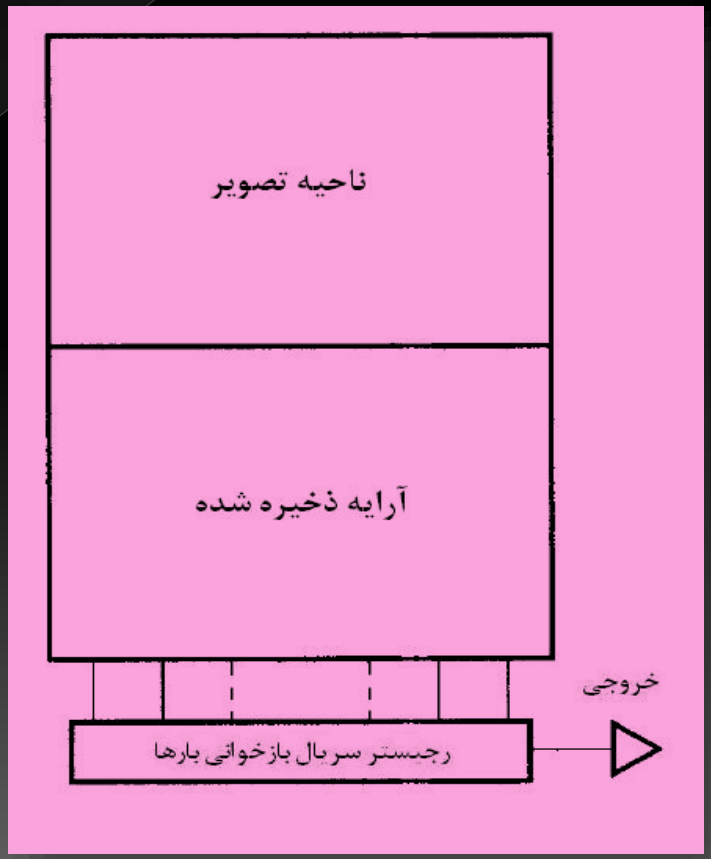
- برای افزایش نرخ بازخوانی می توان سطح CCD را به چندین زیر آرایه تقسیم کرد.



انتقال فریم

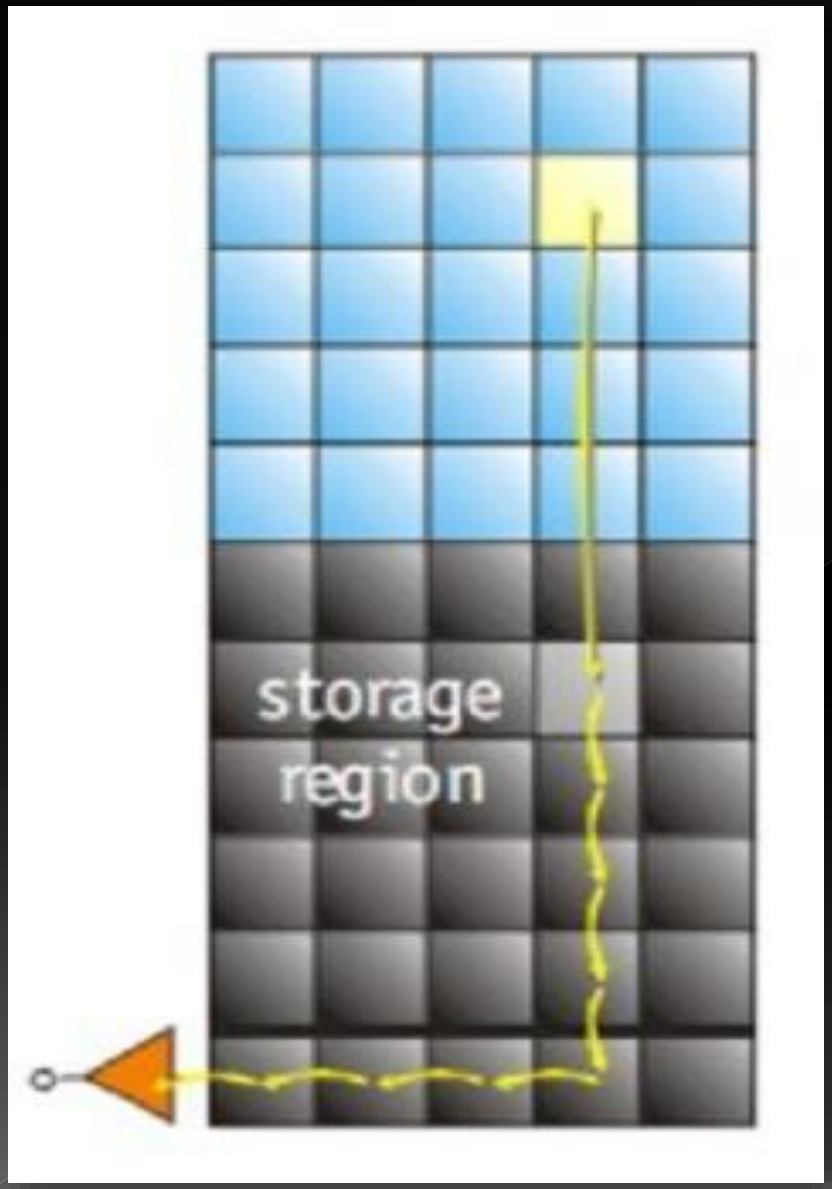


- این نوع CCD در مواقعی که سرعت بالا و بازه ی تابش نور کمی در حد صد یا هزار میکروثانیه داشته باشیم استفاده می شود.



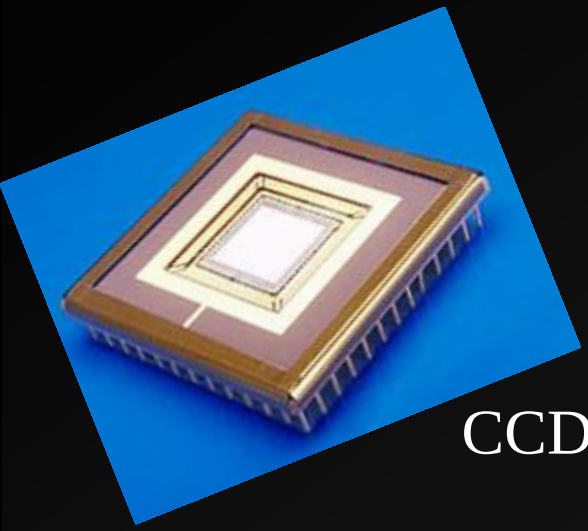
* ساختار آن به دو قسمت تقسیم شده است. نور در قسمت بالایی آرایه متمرکز می شود و ناحیه دوم که آرایه ذخیره نام دارد مقدار آرایه تصویر را گرفته و با آن برابر می شود و یک ماسک کدر نیز روی این ناحیه موقتی می گذارد.

انتقال فریم

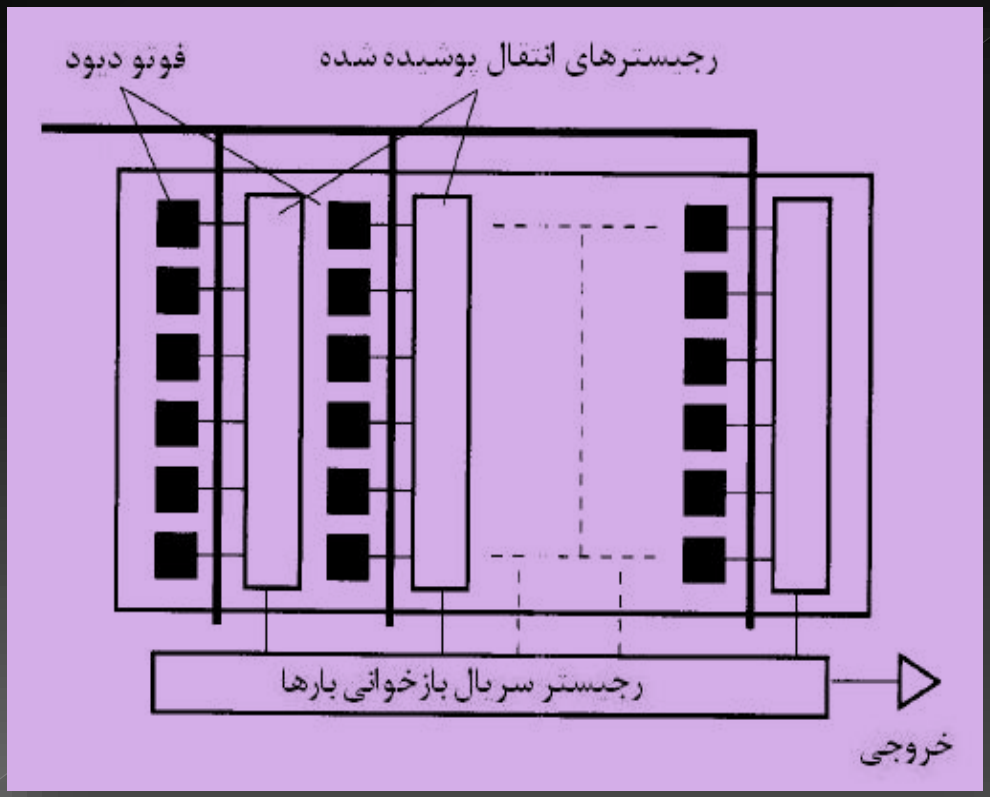


- یک بار که آرایه تصویر در معرض نور قرار گرفت سیگنال به سرعت به آرایه ذخیره شیفت داده می شود. در هنگامیکه آرایه ی ذخیره خوانده می شود، آرایه ی تصویر می تواند سیگنال دیگری را دریافت کند.

میان سطری



- این نوع معماری برای کاربردهای پر سرعت با شدت سیگنال متوسط تا زیاد، ایده آل است. دستیابی به سرعت بالا و کار پیوسته در این نوع CCD عواقبی مثل کاهش حساسیت مخصوصا در محدوده UV دارد.

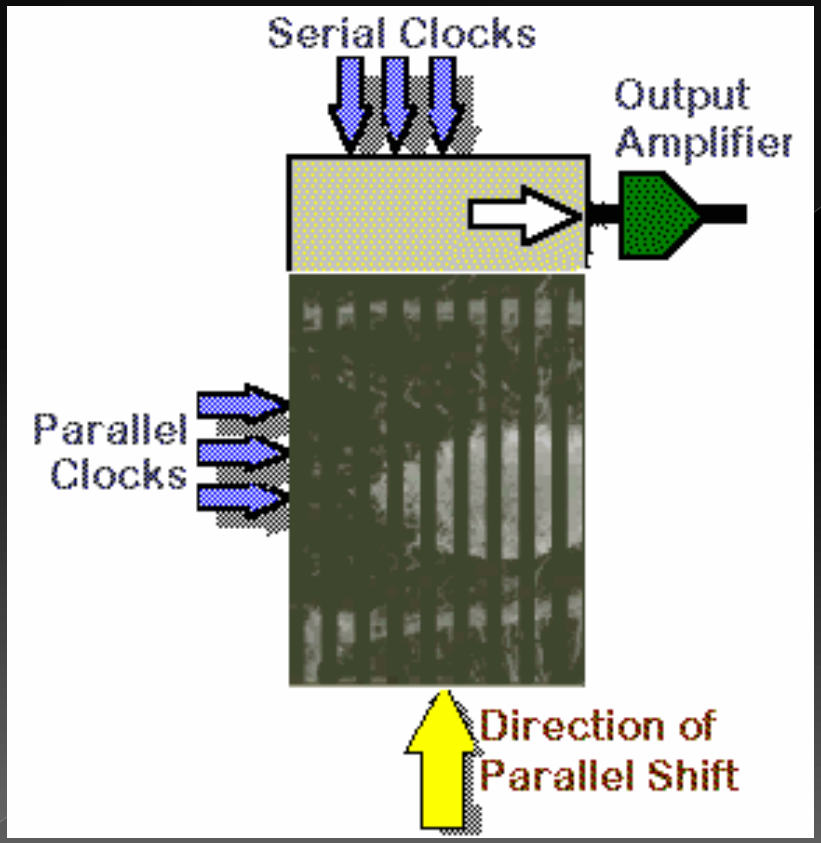


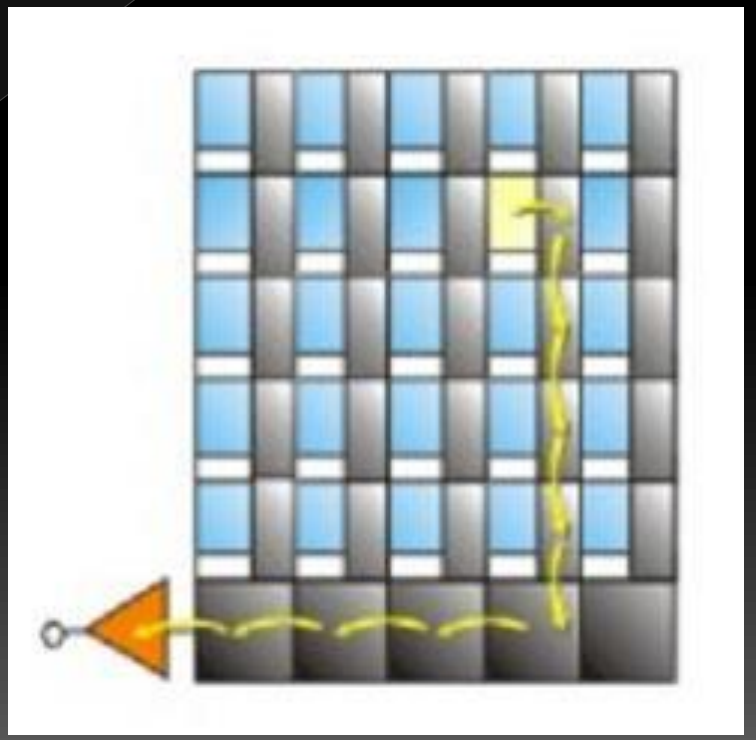
- ساختار آن شامل آرایه هایی از دیودهای حساس به نوری است که به طور الکتریکی به یک ذخیره کننده ی CCD در پایین ناحیه پوشیده شده متصل هستند.

نواحی حساس به نور به طور متناوب در طول محورهای عمودی CCD گسترده شده اند.

میان سطری

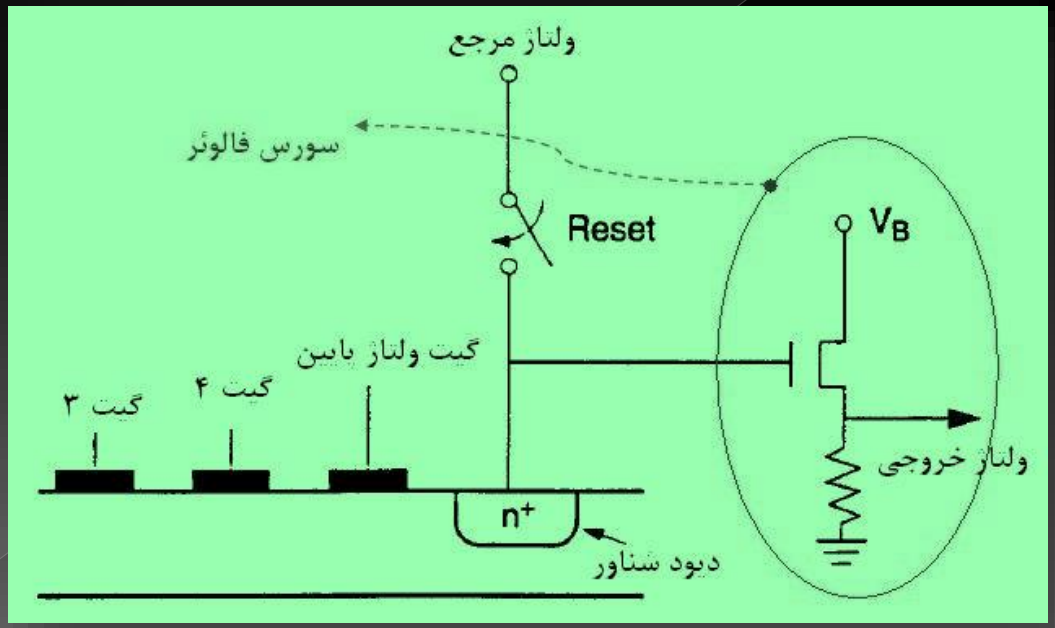
- ۲۵ درصد از ناحیه CCD را دیودهای فعال تشکیل می دهند و این به معنی ضریب پوششی ۲۵ درصد است.





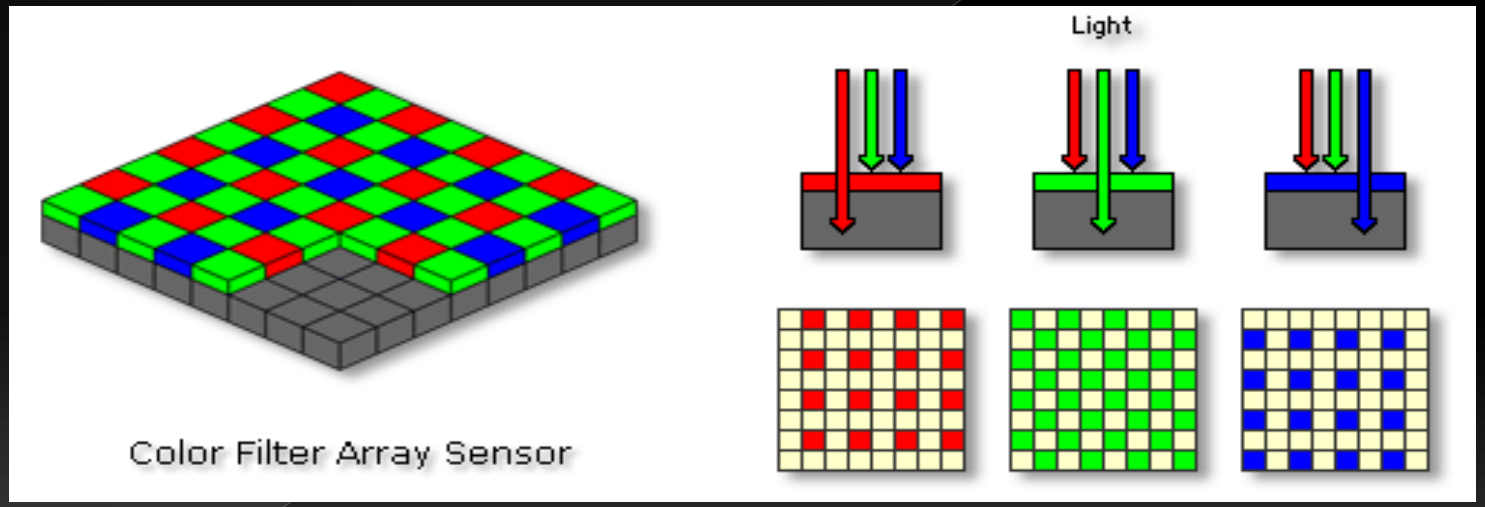
تبدیل بار به ولتاژ

- در گره خروجی بار به وسیله یک دیود شناور (Floating Diode) یا پخش شدگی شناور (Floating Diffusion) به ولتاژ تبدیل می شود.
- گیت ۳ و۴ گیت های انتهایی یک سیستم چهار فازی هستند. گیت ولتاژ پایین در نقش یک چاه مجازی اجازه انتقال بار را فقط وقتی که گیت ۴ صفر است می دهد.
- این دیود مانند خازنی عمل می کند که قبلا شارژ شده است. بار خازن توسط طبقه سورس فالوئر به ولتاژ تبدیل می شود.



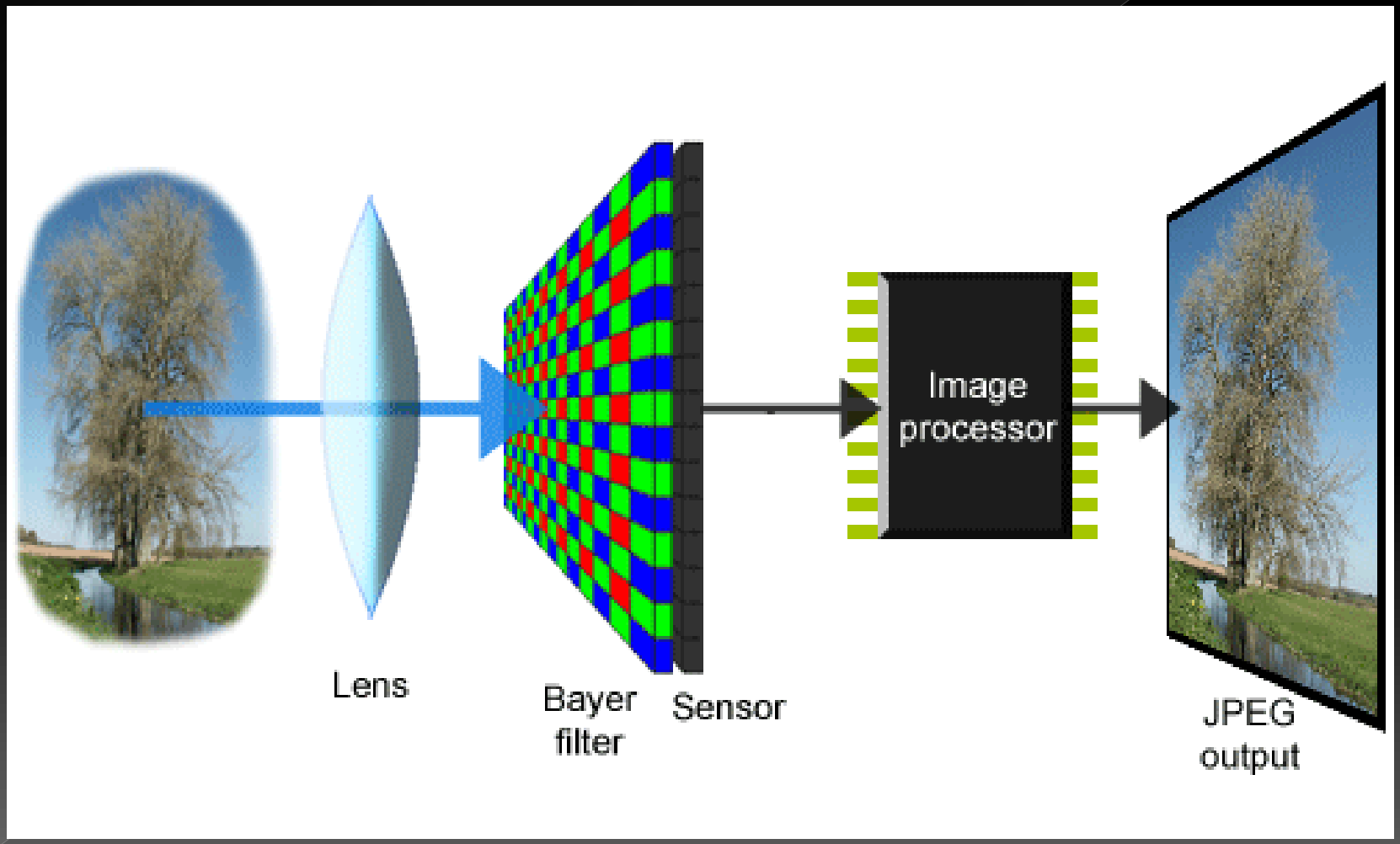
تصویر رنگی با استفاده از CCD

• CCD ها ذاتا بی رنگ هستند، یعنی توانایی تشخیص رنگ را به صورت طبیعی ندارند و این به خاطر این است که تفاوتی بین طول موجها قائل نمی شود. بنابراین برای تشخیص رنگهای قرمز، آبی و سبز از فیلتر بایر (Bayer) برای ماسک کردن سطح CCD استفاده می کنند.



• برای اینکه CCD از چشم انسان تقلید کند نسبت فیلترهای سبز دو برابر فیلترهای قرمز و آبی است(سبز ۵۰ درصد و قرمز و آبی هر کدام ۲۵ درصد). از آنجایی که هر پیکسل یک رنگ را شناسایی می کند رنگ واقعی با استفاده از متوسط گیری شدت نور اطراف پیکسل که به میان یابی رنگ مشهور است، ایجاد می شود.

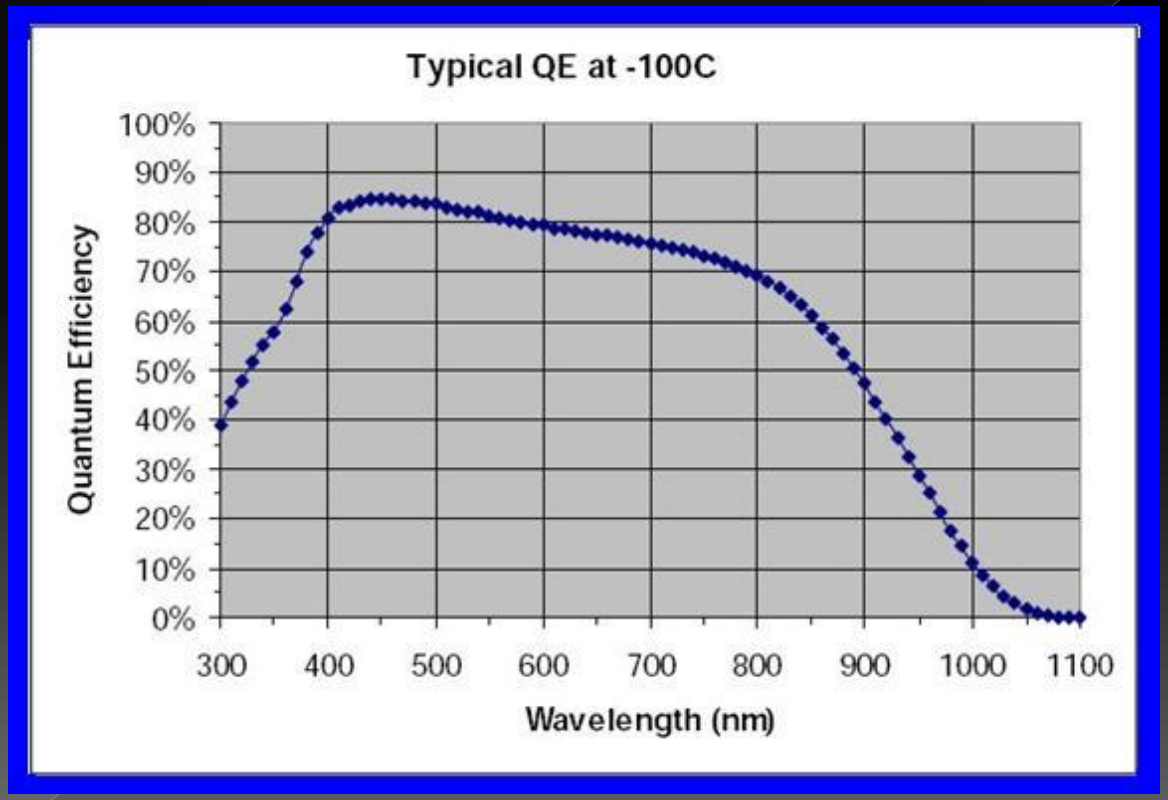
تصویر رنگی با استفاده از CCD



خواص CCD

بازده کوانتومی

- بازده کوانتومی درصد فوتون هایی است که در قطعه به الکترون تبدیل شده اند. بنابراین معیاری برای حساسیت حسگر به نور است.



- این مشخصه به طول موج نور ورودی بستگی دارد. فوتونهای با انرژی کوچکتر چون کمتر در سیلیکان نفوذ می کنند به سادگی آشکارسازی نمی شوند.

خواص CCD

محدوده دینامیکی

- محدوده دینامیکی بر اساس نسبت ظرفیت کامل چاه یعنی ماکزیمم الکترونهایی که یک پیکسل می تواند نگه دارد، به سطح نویز تعیین می شود.

$$Dynamic\ Range = \frac{Full\ Well\ Capacity}{Read\ Noise}$$

- معمولاً ظرفیت کامل چاه بالای ۱۰^۵ الکترون است و نویز بازخوانی در حد چند الکترون است. بنابراین محدوده ی دینامیکی می تواند در حدود ۵۰۰۰۰ باشد.

خواص CCD

بازده انتقال بار

- بازده انتقال بار درصد باری است که موفقیت آمیز از یک پیکسل به پیکسل بعدی منتقل می شود. روند انتقال بار در CCD ها بسیار کارآمد است به صورتی که این عدد در رنج ۹۹.۹۹۹۵ تا ۹۹.۹۹۹۹ درصد برای قطعات CCD قرار دارد.

سرعت

- CCD ها آشکارسازهای کندی هستند، ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ برابر کندتر از ضرب کننده های فوتون.

کاربردها

- تصویر برداری عمومی
- بینایی ماشین : یک سیستم بینایی ماشین در حالت ساده شامل یک منبع نور، دوربین و یک نرم افزار کامپیوتری برای پردازش تصاویر دیجیتالی است.
- کاربرد در ستاره شناسی : به دلیل راندمان بالای کوانتومی ، خطی بودن خروجی ها و سهولت استفاده در مقایسه با صفحات عکاسی و... ، CCD ها توسط ستاره شناسها در کاربردهای ماورا بنفش به مادون قرمز استفاده می شود.
- کاربردهای علمی
- کاربردهای نظامی : ارتش همواره علاقه مند به آشکار کردن، تشخیص دادن و شناسایی اهداف در فواصل دور است که نیازمند حسگر های کم نویز و با قدرت تفکیک پذیری بالا است.
- کاربردهای پزشکی

Thank you for your attention

?