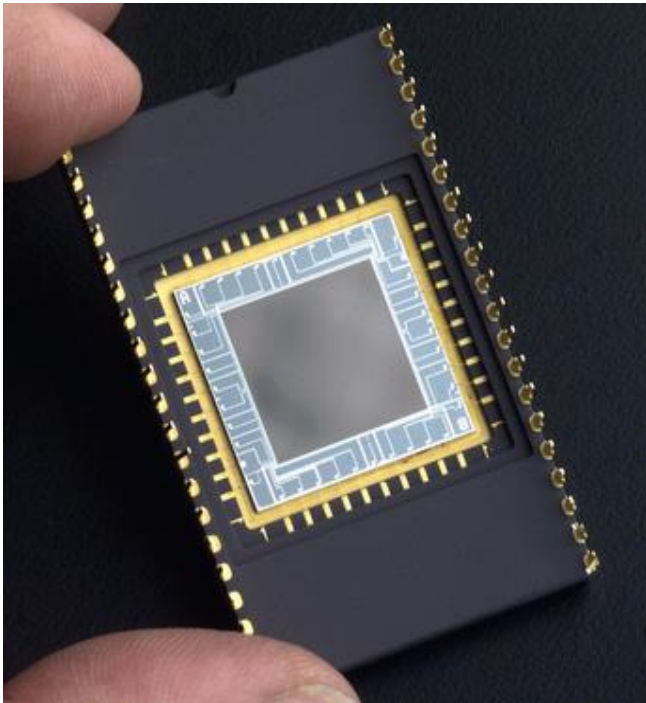


СТРУКТУРИ СЪС ЗАРЯДЕН ПРЕНОС (СЗП) (Charge-Coupled Devices – CCD)

Доц. д-р Мария Александрова

- Предназначение
- Принцип на действие
- Роля на MOS структурата като базова клетка на CCD
- Трифазни CCD матрици за възпроизвеждане на цветни изображения с висока разделителна способност
- Основни параметри и характеристики

- Предназначение



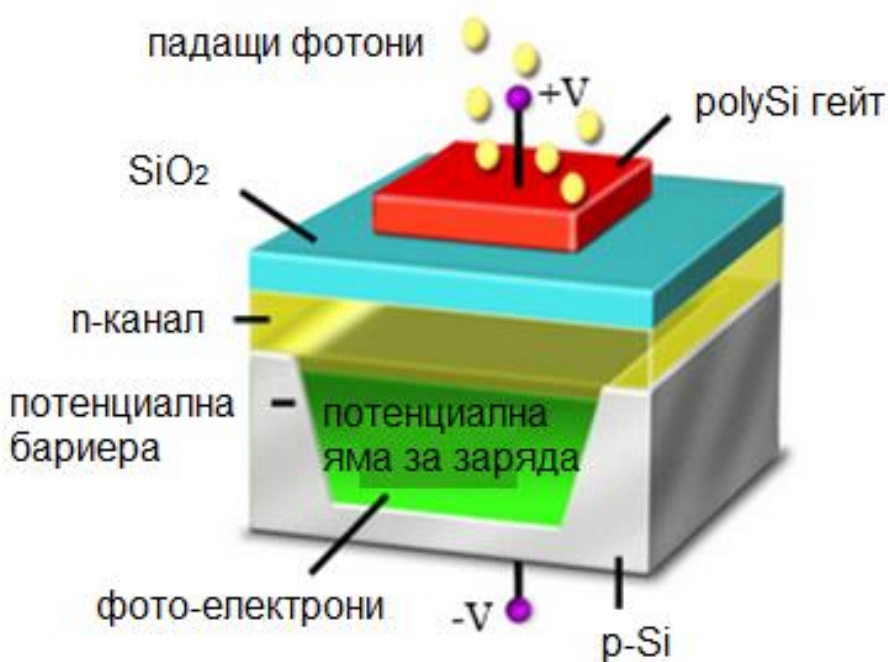
Изглед на CCD сензор

Структурата със заряден пренос (СЗП) е технология за формиране на цифрово изображение. Системите на цифровите фотоапарати, включващи разнообразни конфигурации на детектори със заряден пренос (Charge Coupled Device - CCD), са най-често срещаната технология за улавяне на изображения, използвана в съвременната електрооптика и оптика. CCD е вградена в:

- цифрови камери,
- цифрови фотоапарати,
- вградените в телефоните камери,
- скенери,
- прецизни фотодетектори с висока разделителна способност в електронни микроскопи и телескопи,
- памети,
- преместващи регистри

- Принцип на действие

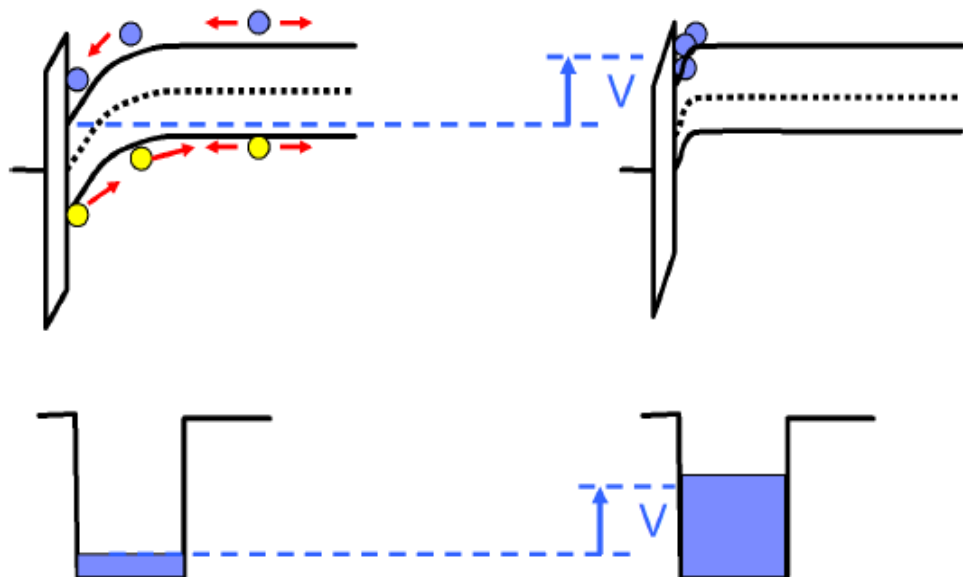
Действието на СЗП (Charge Coupled Devices – CCD) се основава на взаимното действие на голям брой MOS-кондензатори, разположени линейно или матрично. **Основната градивна единица е MOS-кондензаторът.**



MOS елемент на CCD матрица

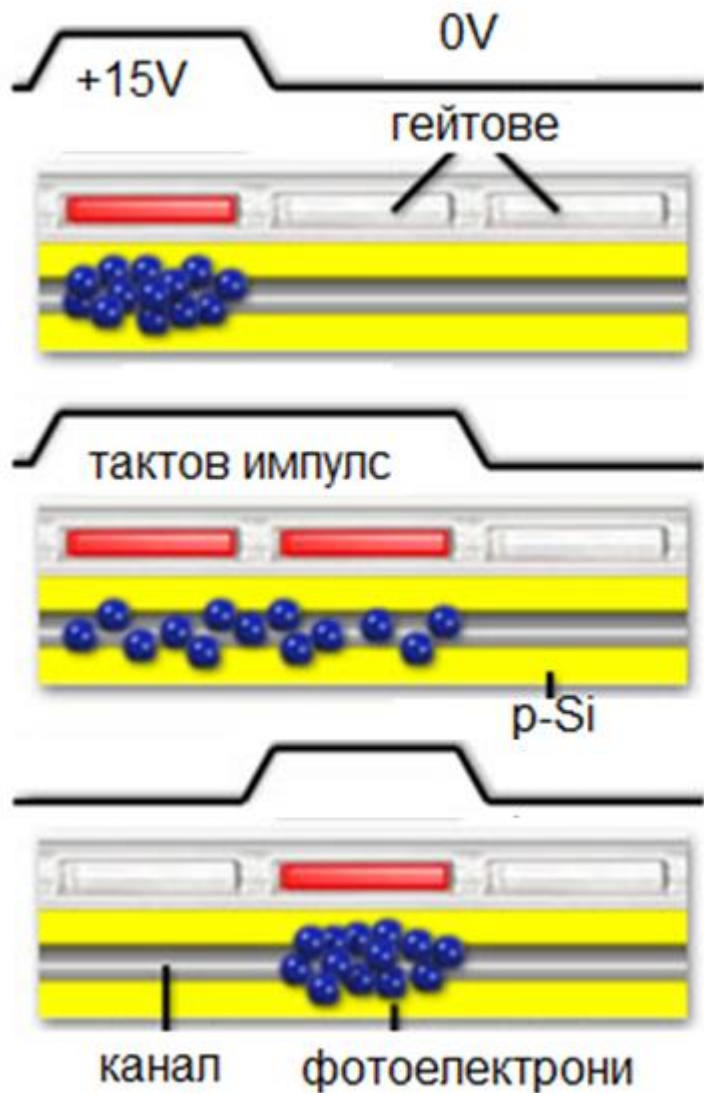
Технологията позволява висока плътност на елементите (фотоприемни матрици с около 10 милиона елементи в чип), поради това, че представлява силициева пластина, разделена геометрично на равномерен масив от хиляди или милиони чувствителни на светлина области, които улавят и съхраняват информация за изображението под формата на локализиран електрически заряд, който варира като количество според интензивността на падащата светлина. Нужни са подходящи електрически преднапрежения на управляващите гейтове.

- Роля на MOS структурата като базова клетка на CCD



Механизъм на формиране на
потенциална бариера и
потенциална яма

Първоначално всеки пиксел в сензорната редица функционира като потенциална яма за съхранение на заряда по време на събирането и въпреки че могат да се натрупват или електрони, или дупки (в зависимост от архитектурата на CCD), зарядите, генерирани от падаща светлина се наричат фотоелектрони. Всички разглеждания ще бъдат направени за структури, в които електроните за основни носители на заряда, заради тяхната по-голяма подвижност от тази на дупките в силициевата технология (това от своя страна обезпечава по-голямо бързодействие). Тези фотоелектрони могат да се натрупват и съхраняват за дълги периоди от време без да рекомбинират, преди да бъдат прочетени от чипа на електрониката което прави структурите подходящи и за памети (това зависи от степента на легиране с примеси).

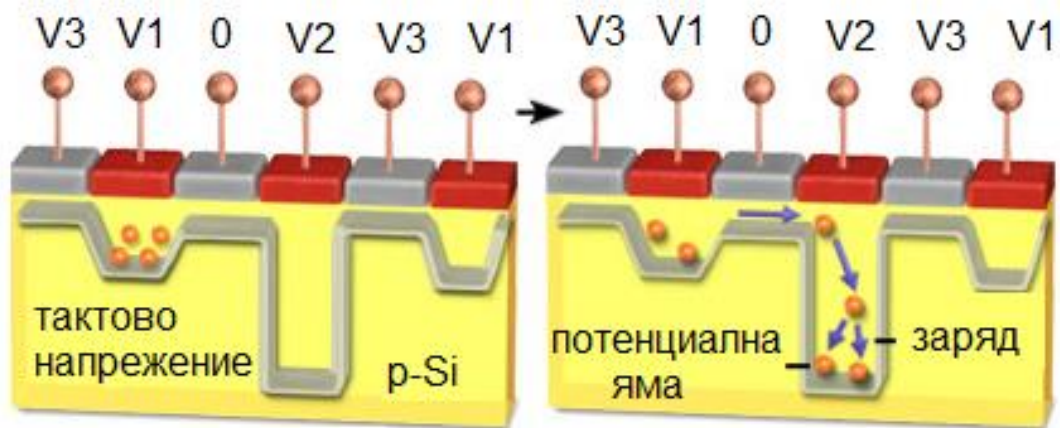


CCD структура

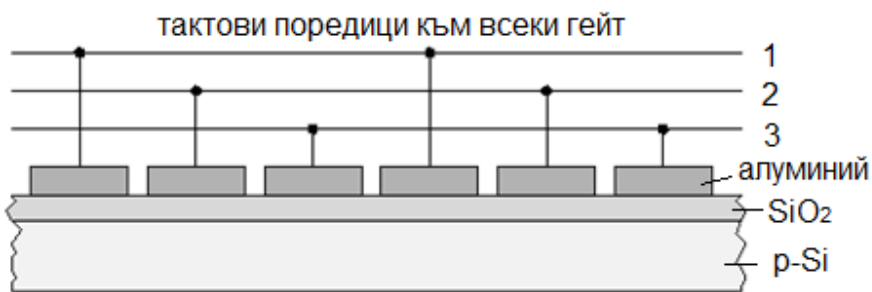
Електроните, генерирани в обеднените зони, първоначално се събират в електрически положително заредени потенциални ями, свързани с всеки пиксел. По време на прочитането на информацията от прилежащата електроника, събраният заряд впоследствие се измества към съседни подгейтови канали под въздействието на напрежения, приложени към гейта.

FWC – full well capacity – капацитет на запълнената със заряд потенциална яма

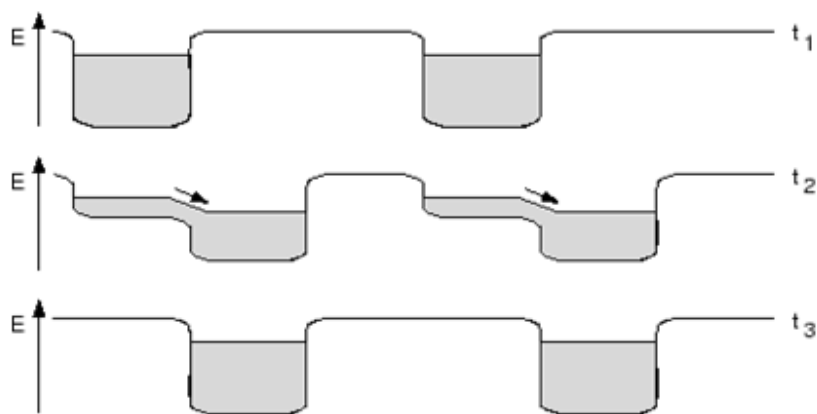
Когато голям брой MOS кондензатори са поставени близо един до друг, за да образуват сензорна редица, зарядът се премества през устройството чрез контролиране на напреженията на гейтовете на кондензаторите по такъв начин, че зарядът да се „излива“ (или да изтича) от един кондензатор към следващия.



Схематично представяне на трифазен CCD сензор за изображения.



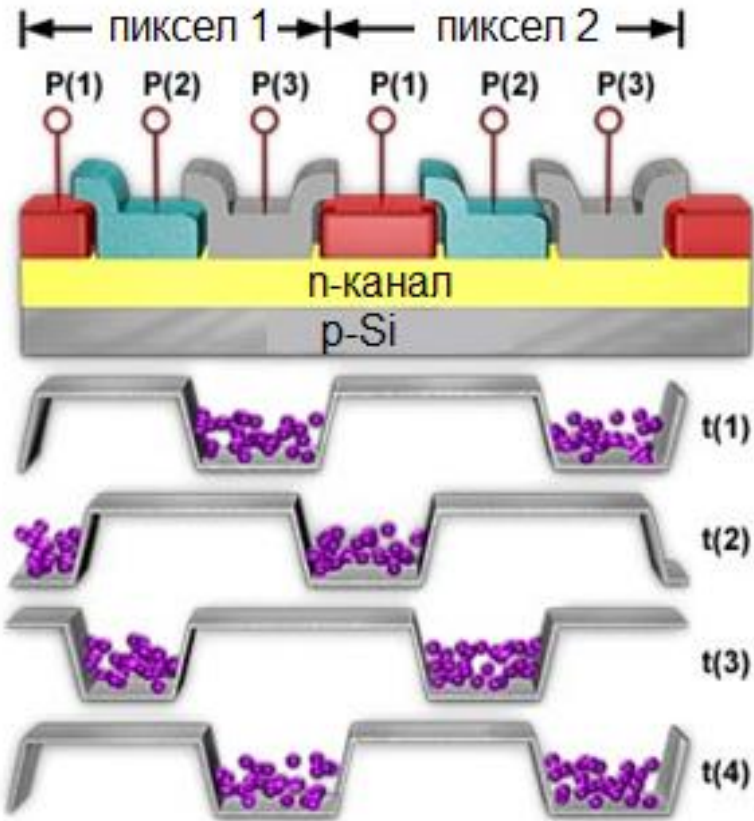
Преносът на заряда в силиция е свързан с тактовите схеми на напрежение, приложено към структурата на гейта.



Количественото определяне на съхранения заряд се извършва чрез комбинация от паралелни и серийни трансфери на заряд, които доставят последователно зарядния пакет на всеки сензорен елемент до един измервателен възел. Електродната мрежа изградена върху CCD в слой, прилежащ към сензорните елементи представлява преместващият регистър за трансфер на заряд.

- Трифазни CCD матрици за възпроизвеждане на цветни изображения с висока разделителна способност

3 суб-пиксела за трите цвята

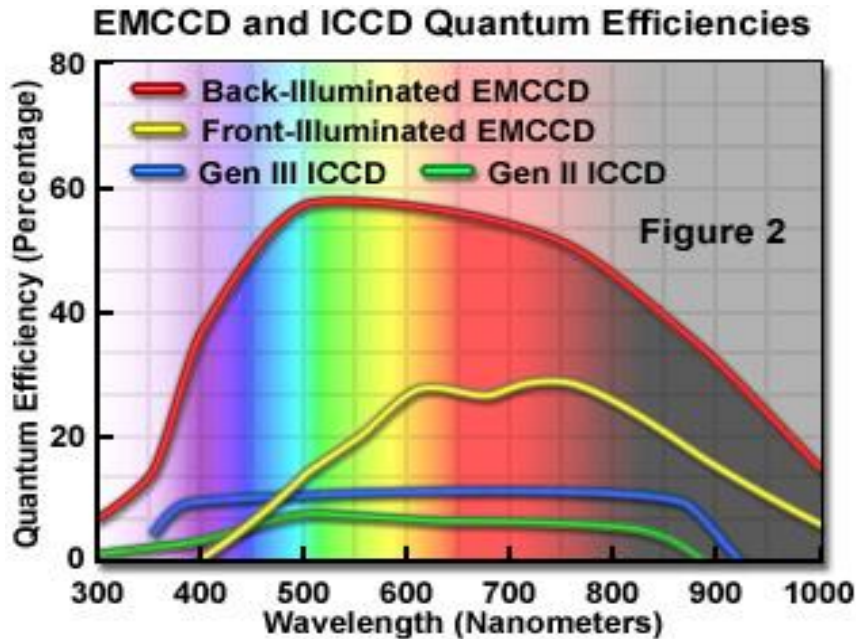


Всяка последователност от три паралелни порта съставя регистър на един суб-пиксел, а хилядите пиксели, покриващи повърхността на CCD, съставляват паралелния регистър на устройството. За да се реализира този механизъм не е необходимо само дефазирание на тактовите поредици, но и частично припокриване на гейтовите електроди, за да може по подходящ начин да се формират границите на потенциалните ями.

Детайлно представяне на трифазния CCD, разделен на суб-пиксели

- Основни параметри и характеристики

- **Квантовата ефективност на детектора (QE)** е мярка за вероятността фотон с определена дължина на вълната да бъде уловен в активната област на устройството, за да позволи освобождаване на носители на заряд.



По данни на Olympus тя може да достигне 50% при класическа структура за диапазона УВ – видима - близка ИЧ област. По-високи стойности на QE могат да бъдат получени със специализирани изтънени CCD, които са конструирани така, че да позволяват осветяване от задната страна, избягвайки изцяло структурата на повърхностните електроди. За да стане възможно това, по-голямата част от силициевата подложка се отстранява чрез ецване.

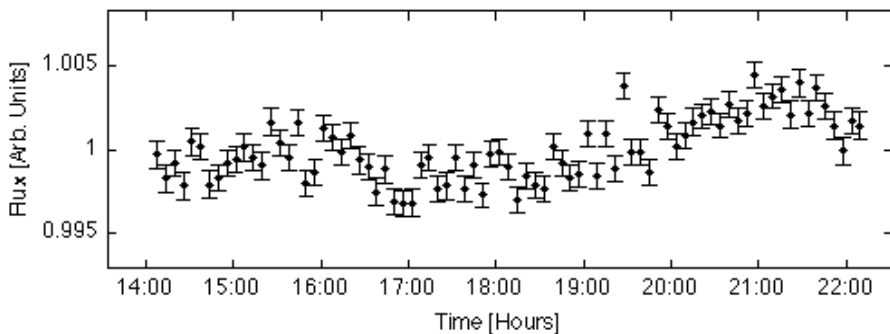
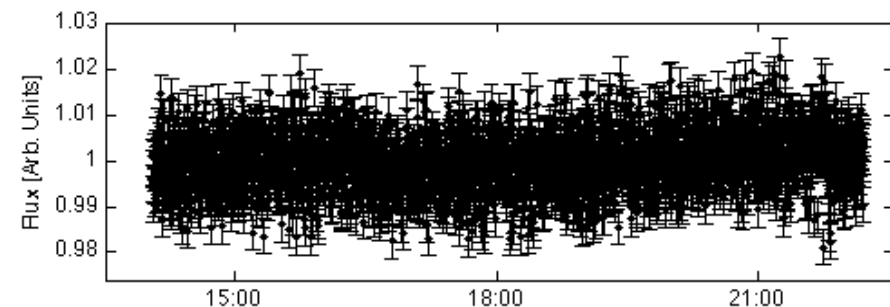
- **Управляващи напрежения на гейта (clock amplitude) и усилване на сигнала (gain)**

↓
15-30 V

↓
10 000 – 100 000

- **Скоростта на четене (readout rate)** на повечето CCD камери е регулируема и обикновено варира от приблизително 0,1 MHz до 10 или 20 MHz. Максималната постижима скорост е функция на скоростта на обработка на АЦП и другата електроника на камерата, които отразяват времето, необходимо за цифровизиране на един пиксел.

Избиране на данни - бининг (binning) - натрупаните зарядни пакети от съседни пиксели в CCD масива могат да се комбинират по време на отчитане.



Предимства: по-краткото време на експозиция, за получаване на една и съща яркост на изображението и по-малки размери на файловете с изображения, което намалява изискванията към паметта за съхранение и ускорява обработката на изображенията.

Недостатък: намалява пространствената разделителна способност

- **Пространствена разделителна способност - Spatial Resolution:** Определя възможността за заснемане на фини детайли от образа, без пикселите да се виждат в изображението.
- **Разделителна способност по отношение на интензитета на светлината - Light-Intensity Resolution:** Определя динамичния обхват или броя нива на сивото, които се различават в показаното изображение.
- **Времева разделителна способност - Time Resolution:** Честотата на семплиране (отчитане), наречена кадър и определяща способността да се проследява движението на образ на живо или бързите кинетични процеси.
- **Отношение сигнал/шум - Signal-to-Noise Ratio:** Определя видимостта и яснотата на сигналите възпроизвеждащи изображението спрямо фона на това изображение (SNR трябва да има стойност не по-малка от 2.7, за да бъде различимо изображението).

Ефективност на прехвърляне на заряда (Charge Transfer Efficiency) - появата на непълен пренос на заряд може да доведе до замъгляване на изображението поради смесването на заряд от съседни пиксели – да бъде над 80% (0.8).

Динамичен обхват на CCD детектор - изразява максималната вариация (между минимума и максимума) на интензитета на сигнала, която може да бъде регистрирана и количествено определена от сензора. Количеството се определя като съотношението на капацитета на пикселите със запълнена яма (FWC) към шума при четене.



CCD камери за ИЧ и рентгенови изображения – необходимо им е охлаждане с Пелтие елементи, тъй като загряването от лъчението може да предизвика неконтролируемо преразпределение на зарядните пакети. Промяната на температурата в полупроводника променя условията за формиране на потенциална яма, повлиявайки върху потенциалната бариера. Предпочита се да са от Ge или GaAs, вместо от Si.

БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!