


Детекција инфрацрвеног зрачења

Милко Бабић, РПЗ



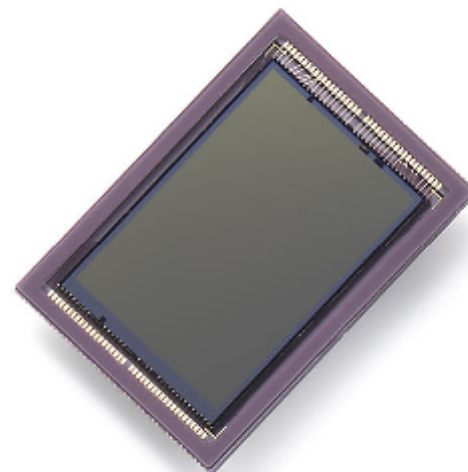
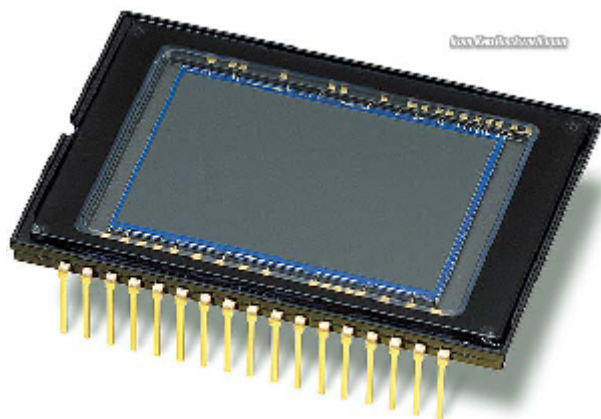
Увод

- ИС и UV зрачење су дијелови спектра електромагнетног зрачења најближи видљивој свјетлости
- Иако дјелују на људско тијело предавањем топлоте или изазивањем опекотина остају невидљиви
- Глобалне климатске промјене и озонске рупе су довеле до тога да су ИС и UV зрачење постали два најчешће кориштена физичка појма у медијима

- 
- Подучавање о невидљивим аспектима природе који су недоступни људским чулима је сложеније од подучавања о стварима које ученик може видјети, чути, мирисати или додирнути
 - Учинити видљивим неки невидљиви дио физичке стварности је најједноставнији и најјачи доказ о његовом постојању

Детекција свјетлости

- Данашњи дигитални фотоапарати за детекцију свјетлости користе тзв. CCD чипове или CMOS чипове



Добитници Нобелове награде за физику у 2009.



Чарлс Као

за изуме у вези
преноса
свјетлости у
оптичким
vlakнима





Вилард Бојл

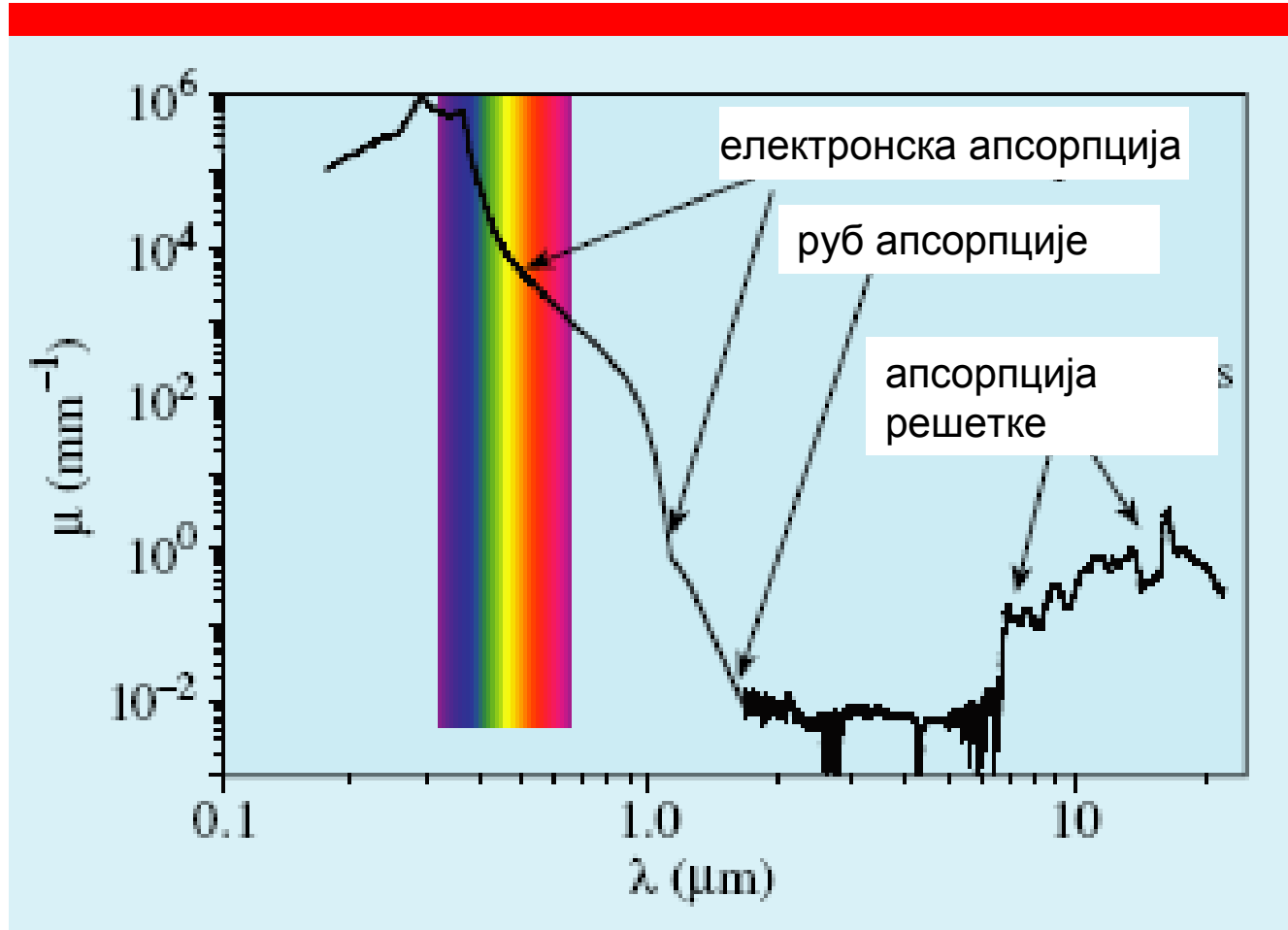
за изум CCD чипа 1969. г.
радећи у Беловим лабораторијама у
Њу Џерсију




Џорџ Смит


- 
- Да би неки фотон био детектован он мора бити апсорбован. Исто важи за CCD чип, фотографски филм или мрежњачу

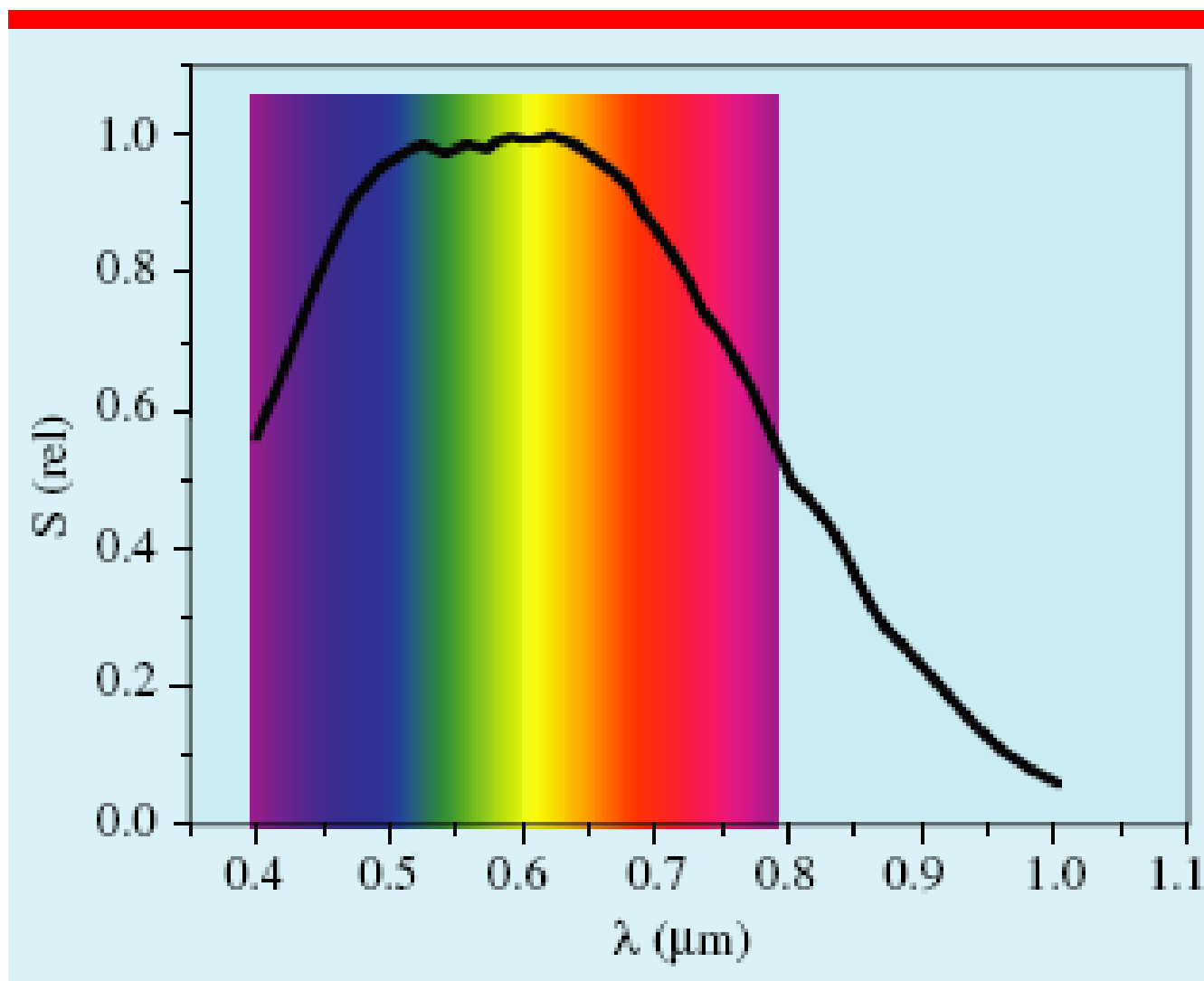
- 
- То значи да је спектрална осјетљивост детектора блиско повезана са апсорбционим спектром преко механизма детекције зрачења.
 - У структури полупроводника силицијума фотон се детектује приликом његове апсорпције од стране електрона. Том приликом електрон прелази из валентне у проводну зону
 - Пар електрон-шупљина настао апсорпцијом фотона детектује CCD или CMOS, тј. њихове компоненте испод површине чипа.




Коефицијент апсорпције (μ) силицијума


- 
- Граница апсорпције је је на таласној дужини $1,1\mu\text{m}$ и одређена је ширином забрањене зоне $1,1\text{ eV}$.
 - За краће таласне дужине – веће енергије фотона, апсорпција нагло расте
 - Полудебљина апсорбера за таласну дужину $1,1\mu\text{m}$ је неколико центиметара а за плаву свјетлост неколико нанометара силицијума


- 
- У далеком ИС подручју од 1,1-7 μm силицијум добро пропушта зрачење, али у овом подрују зрачење апсорбује вибрације решетке а овај механизам је бескористан за детекцију у структури CCD чипа.
 - Стварна спектрална осјетљивост CCD чипа је благо различита од спектралне осјетљивости силицијума



Осјетљивост CCD чипа

- 
- Пад осјетљивости је видљив за краће таласне дужине (плава свјетлост). Разлог за овај пад је што CCD детектује фотон само у случају да је он апсорбован у р-п слоју. Силицијум добро апсорбује плаву свјетлост, тако да је она у великој мјери апсорбована прије него што стигне до р-п споја
 - Из апсорпционог спектра је видљиво да CCD детектује и ИС зрачење

- 
- ово није пожељно јер је циљ да имамо свјетлосни детектор који има потпуно исту осјетљивост као људско око. Ако се то не постигне дошло би на фотографији до кривљења (кварења) боја.
 - проблем се рјешава тако што се у фотоапарат уграђује IC филтер који чини да је детектовани спектар сличан као код људског ока


- 
- Иако CCD чип у комбинацији са IC филтером чини да је спектрална осјетљивост дигиталних фотоапарата слична људском оку – то није сасвим тачно.
 - То се лако може доказати са нпр. даљинским управљачем телевизора. Они обично емитују IC зраке из опсега 850-950 nm, веома близу видљиве свјетлости. Дигитални фотоапарат ће забиљежити ову свјетлост а људско око не.




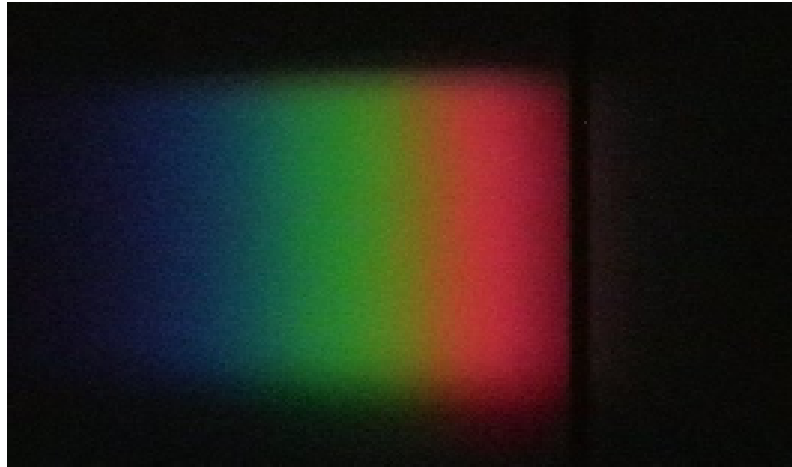
IR зраци које емитује даљински управљач
снимљен дигиталним фотоапаратом

- Обична Web камера такође може да послужи као детектор IC зрачења

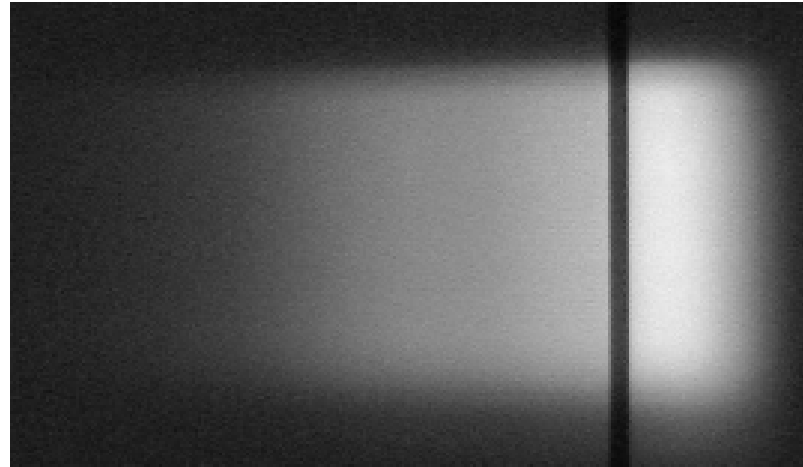


- 
- Неке дигиталне камере имају могућност ноћног снимања и опремљене су изворима ИС зрачења. Овај начин рада код Sony камера је назван Nightshot а код Panasonic камера MagicVi. Надаље ове начине рада ћемо звати IR мод.
 - Када се укључи IR мод дешавају се 2 ствари:
 1. ИС филтер се уклања са оптичког пута
 2. Укључују се ИС диоде око објектива које освјетљавају објекат са ИС зрацима

- 
- Ако онемогућимо ИС зраке тако што диоде прекријемо нпр. црном лепљивом траком, добићемо осјетљиви детектор ИС зрачења до близу $1 \mu\text{m}$ са веома добром резолуцијом који се може користити у демонстационим експериментима да се ИС свјетлост учини видљивом на ефектан начин



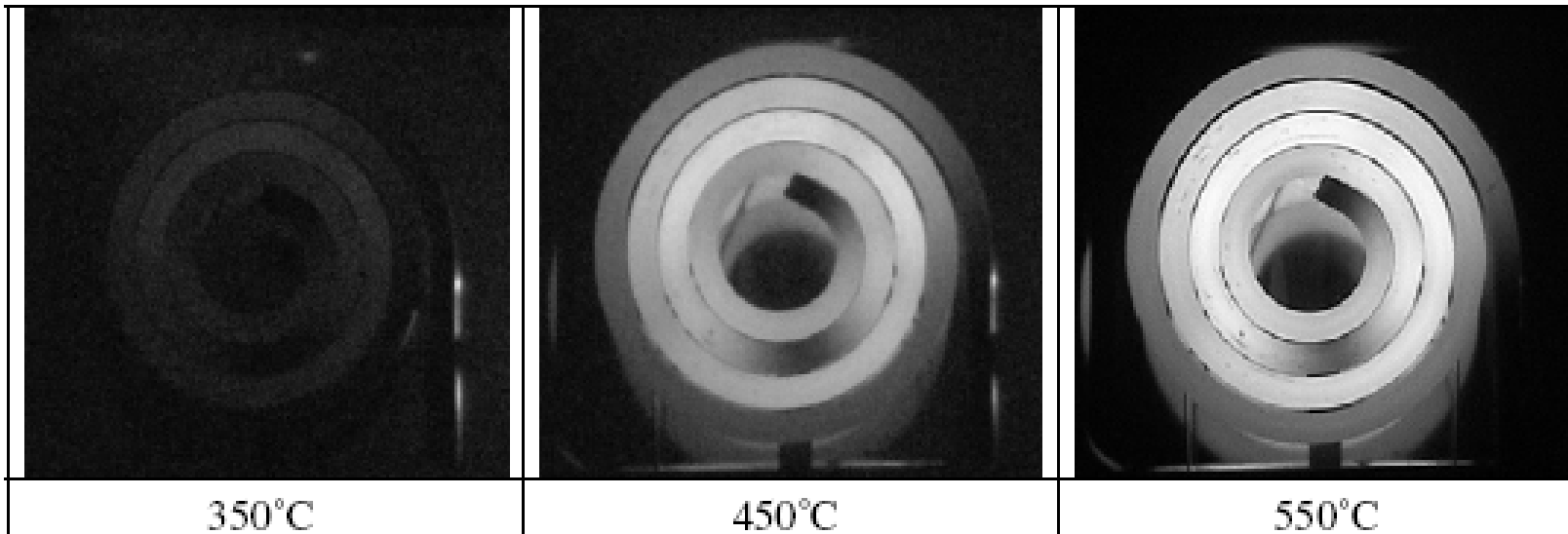
(a)



(b)


Спектар свјетлости халогене сијалице (температура влакна око $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$). Под а) у нормалном моду под б) у IR моду.

Тамна усправна линија је повучена оловком да значи крај видљивог спектра. Види се да у IR моду има доста зрачења десно од линије (невидљивог зрачења)




Грејна плоча електричног решоа снимљена на различитим температурама у IR моду.

Загријана тијела почињу да емитују видљиву свјетлост на температури изнад 500°C



Термокамере - термографија

- Ми видимо предмете зато што они рефлектују свјетлост која потиче од неког спољашњег извора
- Термокамере користе чињеницу да свако тијело на температури $T > 0\text{K}$ емитује тоplotно (инфрацрвено) зрачење

- 
- Ово зрачење, која тијела емитују, се користи за генерисање слике на сличан начин као што видљива свјетлост генерише слику у обичној дигиталној камери (камкордери).
 - Савремене термокамере су скупи уређаји чија се цијена изражава у десетинама хиљада долара



1(a)

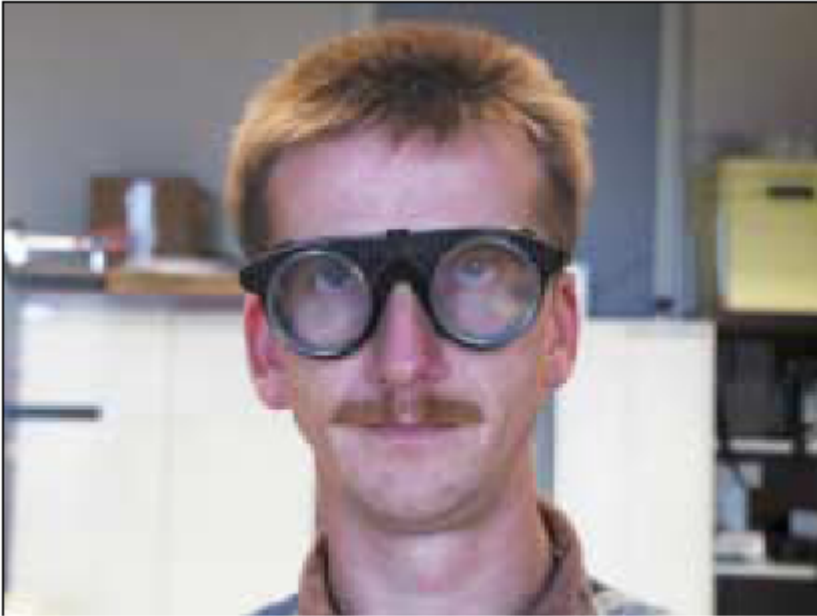


1(b)

а) снимак гуме
бицикла након
кочења добијен
термокамером

б) снимак подлоге
након кочења
бицикла

Врло је видљиво шта
се десило са
кинетичком енергијом
бицикла током
кочења

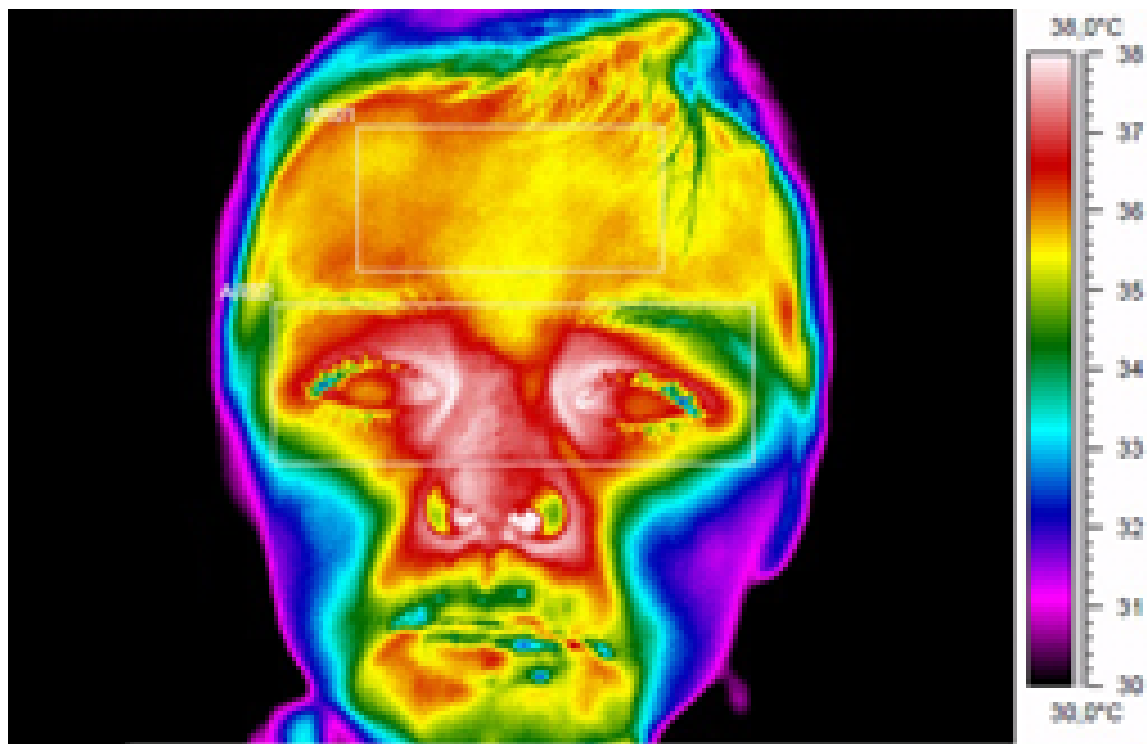


Обична и ИС фотографија човјека који носи наочаре које имају један прозор од обичног стакла а други од NaCl

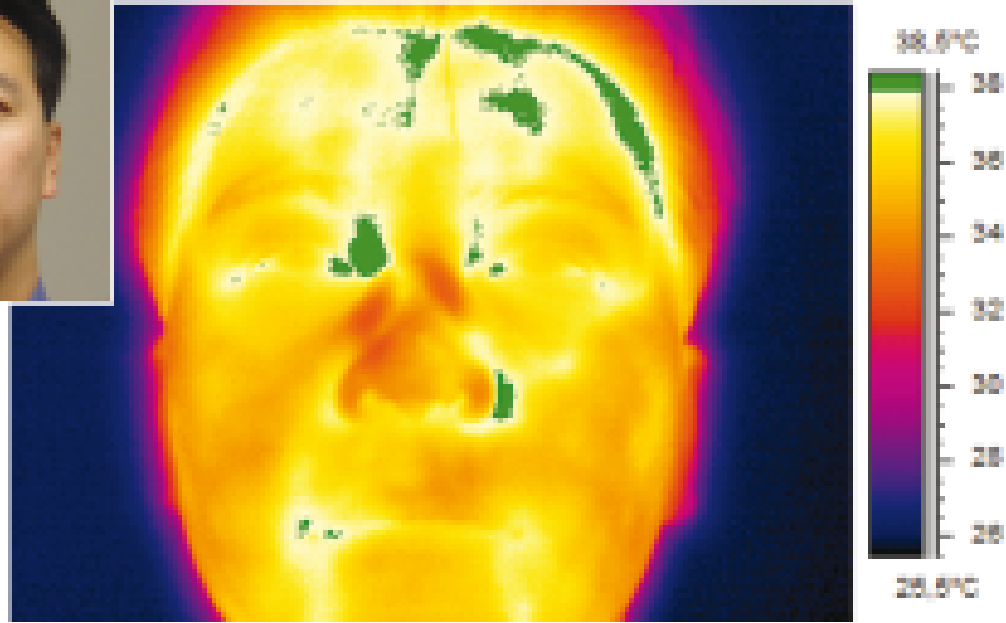
Обично стакло апсорбује ИС зраке и то окно наочара на ИС фотографији је непровидно. ИС зраке које емитује око иза овог окна је заустављено.



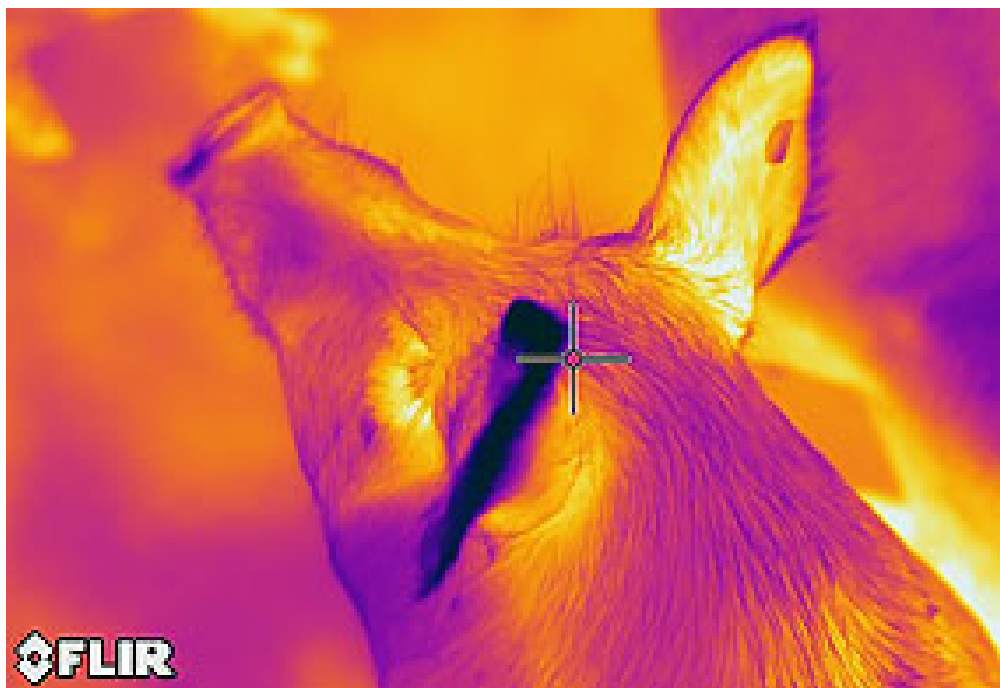
Видљива и ИС фотографија дијела зграде. Термографија зграда је заснована на разликама у тоplotној проводљивости различитих материјала. Ово ради добро ако је велика разлика у температурама између унутрашњости зграде и спољашње средине и обично се снима зими. Када је тоplotна изолација лоша постоји ток енергије из унутрашњости зграде према вани што доводи до различите расподјеле температура на спољној површини зграде



Термографски снимак главе. Расподјела температура омогућава да се одреди правац даљих испитивања



Зелене површине означавају дијелове са температуром вишом од 38 °C



Термографски снимак свиње обољеле од свињског грипа

HDIR MFOV Enh3 Mod Wht DDE PCOR- GeoPnt



Copyright 2010 FLIR Systems Inc.


TLat N 28° 44.365' TLon W 88° 21.994' Alt Of S Rng: 11436m Ins Nav HdgUncert=0.06
Lat: N 28° 46.330 Lon: W 88° 27.625' FLIR SYSTEMS 08-May-2010 19:33:08L




BMW je prvi svjetski proizvođač automobila koji kao dodatnu opremu nudi uređaj za noćno osmatranje




Његова IC камера открива објекте на удаљености до 300 m прије него што буду освијетљени видљивом свјетлошћу. Интелигентни алгоритми трагају нарочито за пјешацима. Ако постоји опасност по пјешака возач добија и додатно упозорење.

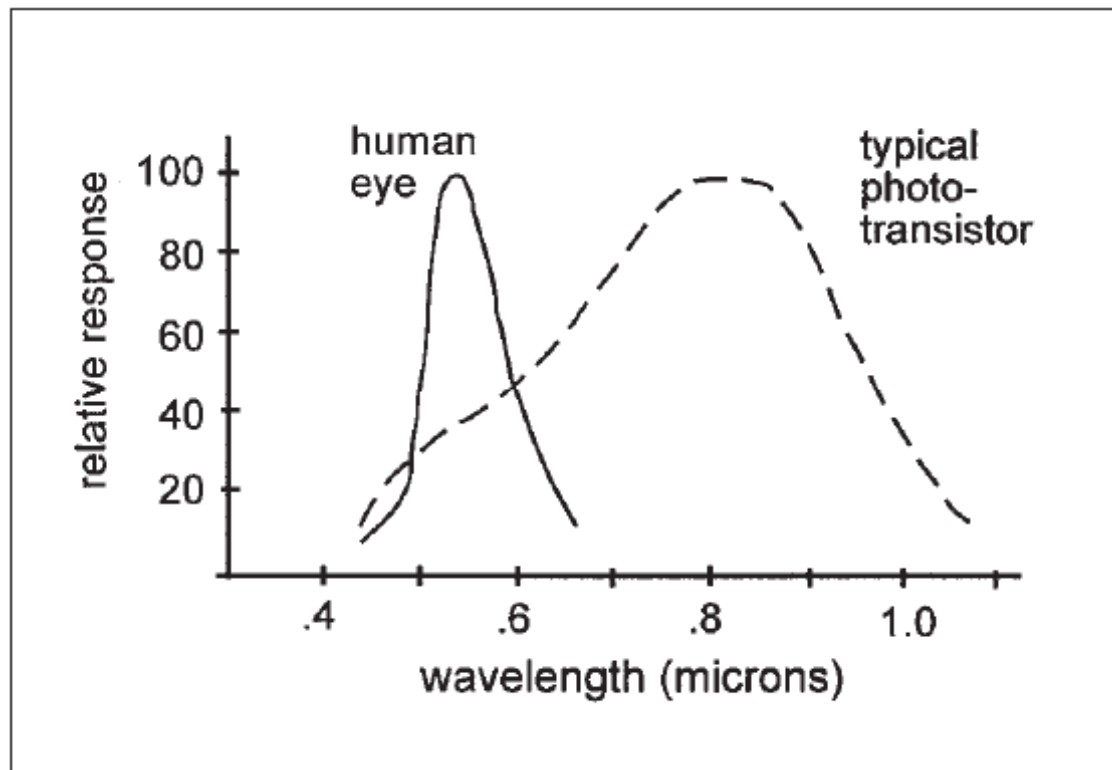


Уређаји за ноћно осматрање имају дужу историју. Још 1935. год. Њемачко предузеће АЕГ је за потребе њемачке војске уградило око 50 оваквих уређаја у тенкове. Ово су били активни уређаји, користили су велике изворе ИС зрачења за освјетљавање циља а за генерисање слике коришћене су појачавачи са фотокатодама од цезијума и сребра. Ови уређаји се данас називају нултом генерацијом.

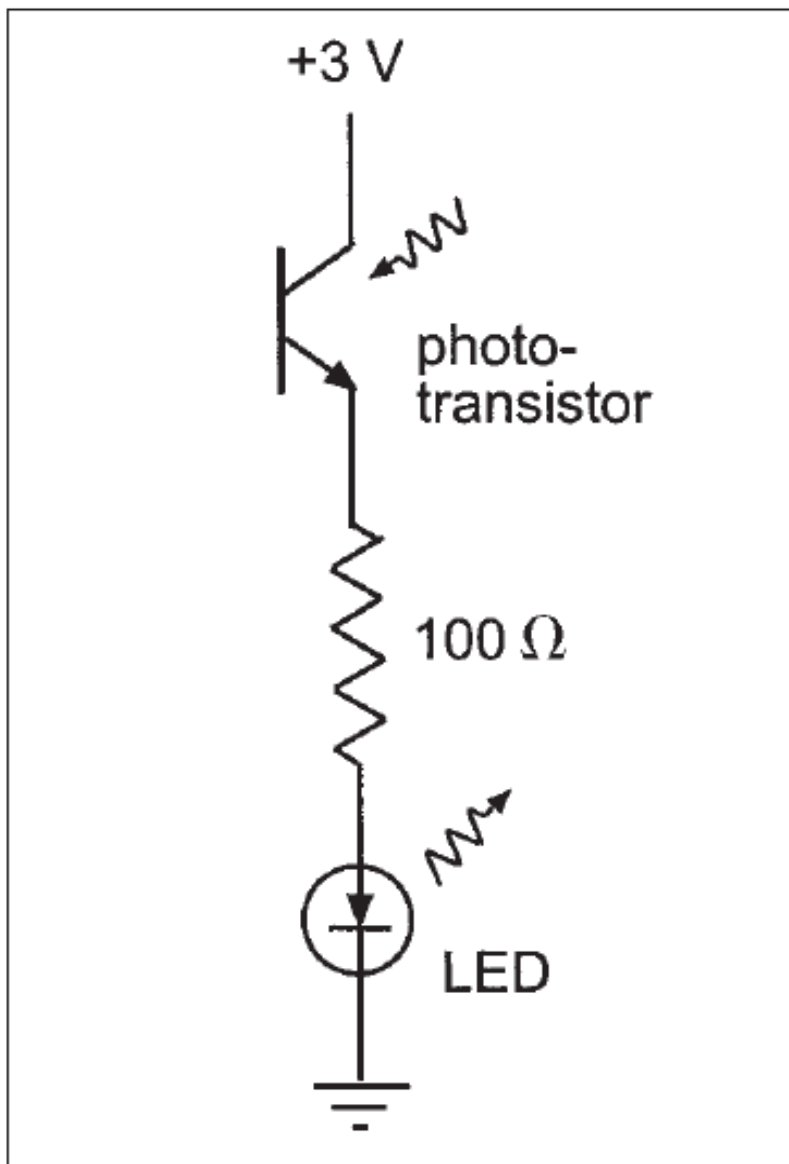
- 
- Уређаји тзв. Прве генерације развијени су за вријеме рата у Вијетнаму. Ослањају се на свјетлост која постоји увијек у некој мјери а не на изворе ИС зрачења. Остваривали су појачање свјетлости до 1000х али су били гломазни и за ваљан рад им је требало нешто мјесечеве свјетлости.
 - Уређаји друге генерације са усавршеним фотокатодама остварују појачање свјетлости до 20 000х и омогућавају виђење и у ноћима без мјесеца

- 
- Уређаји треће генерације имају катодe од галијум-арсенида и остварују појачање од 30 000 – 50 000x и даље повећавајући резолуцију
 - Данас су актуелни уређаји из доста побољшане генерације 3 али још није званично усвојен генерација 4

Детекција инфрацрвеног зрачења помоћу фототранзистора

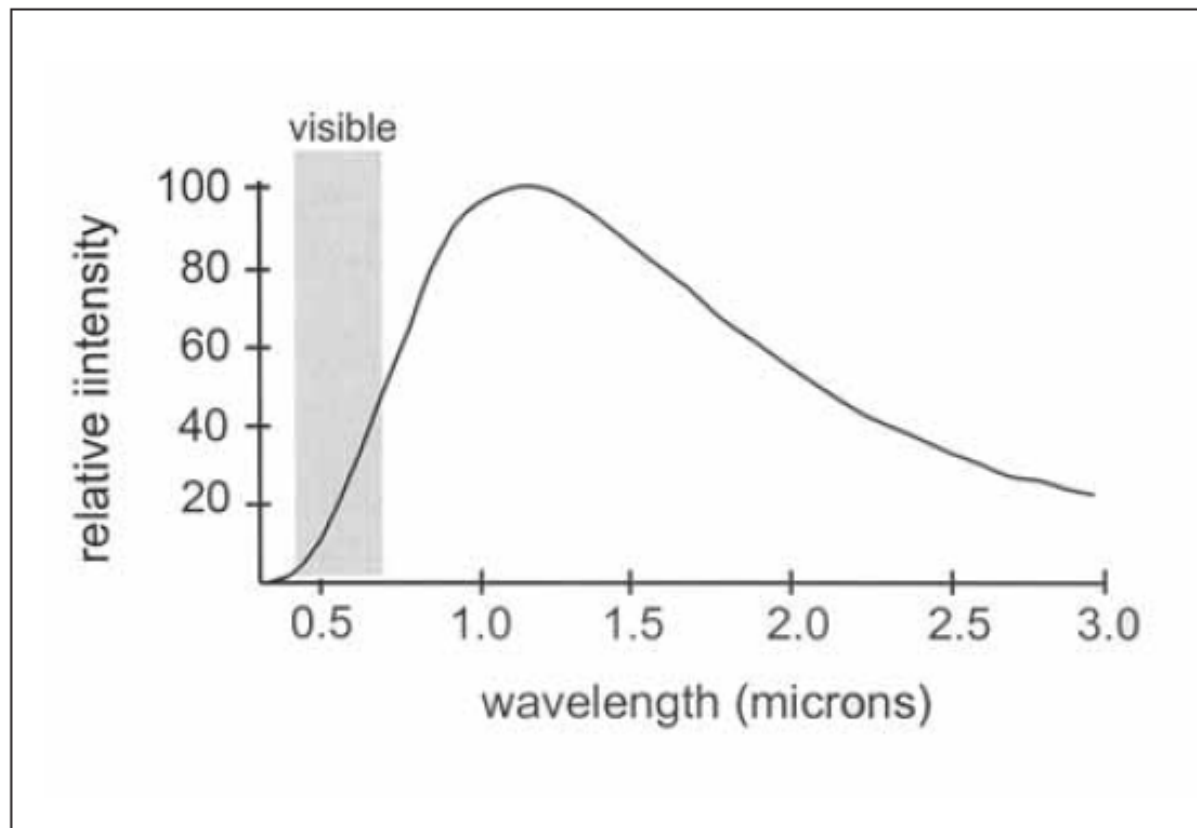


Спектрална осјетљивост људског ока и фототранзистора



шема електричног кола за детекцију инфрацрвеног зрачења помоћу фототранзистора

Фототранзистор се може такође помјерати кроз спектар свјетлости разложене помоћу призме. LED ће емитовати најачу свјетлост у положају до црвене боје, гдје не пада видљива свјетлост већ IC



Као извор ИС зрачења може се користити сијалица са ужареним влакном ако одстранимо видљиву свјетлост помоћу филтера који зауставља видљиву свјетлост а пропушта ИС