

## Šviesos generacijos ir matavimo fizika ir technologija IV

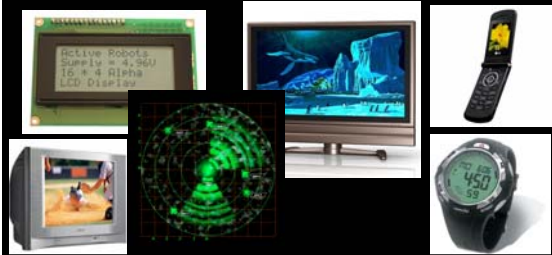
- **Vaizdo formavimo įrenginiai.** Švytėjimo fizikiniai mechanizmai: liuminescencija, fotoliuminescencija, katodinė liuminescencija, elektroliuminescencija. Katodinių spindulių vamzdelis. Šviestukų ekranas. Plazminis ekranas. Skystųjų kristalų ekranas. Skystųjų kristalų erdvinis šviesos modulatorius. Skaitmenų ekranai. Organinių šviestukų ekranai.

## Ekranų funkcijos

- Sąsaja tarp prietaiso ir žmogaus
- Perteikia informaciją (dažniausiai iš elektrinės konvertuoja į vaizdinę)
- Ekranų veikimas – tai ryšys tarp prietaiso ir žmogaus, todėl gero ekranų sukūrimas reikalauja tiek inžinierių, optikų, tiek ir psichologų ir fiziologų pastangų.

## Ekranų rinka

- 2002 metais visokių ekranų buvo parduota už maždaug 50 milijardų US dolerių.



## Informacijos tankis

- Žiūrint 50 cm atstumu, akis neišskiria pikselių didesnių nei 0.15 mm. Todėl maksimali ekranų skiriamoji geba, kurios norime yra apie 170 ppi (pixels per inch). Jei spalvotas ekranas – daugini iš trijų (kiekvienai pirminei spalvai po pikselį)
- Yra tekstiniai ir rastriniai ekranai, tekstiniai dažniausiai koduoja tik simbolius (7-segmentų). Rastriniai koduoja taškučius.

## Įvairūs ekranai, jų raiška ir taikymai

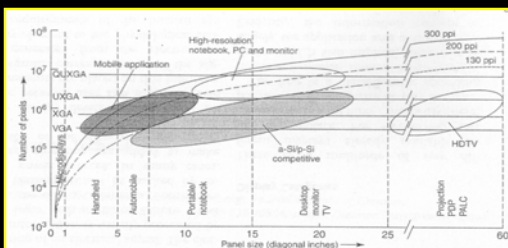
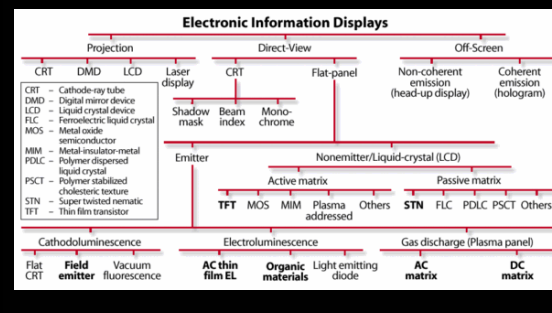


Fig. 2 Different application fields require matched panel sizes. With a standard pixel format given, the size of the panel is determined by the resolution required

## Ekranų technologijos



## Ekranų rūšys apie kurias aptarsime

- Katodiniai vamzdeliai (CRT)
- Plazminiai ekranai
- FED ir VFD
- LED ekranai
- Organinių šviestukų ekranai (OLED)
- LCD ekranai
- Projekciniai ekranai
- Kiti

## Katodinių spindulių vamzdeliai

- Vakuuminis vamzdis, kurio viename gale yra elektronų patranka, ant kaklo užmauta spindulio skenavimo sistema, o kitas plokščias galas padengtas fosforu, kuriam būdinga katodoliuminescencija



Karl Ferdinand Braun  
1850-1918, Nobelis 1909  
kartu su Marconi

## Privalumai ir trūkumai

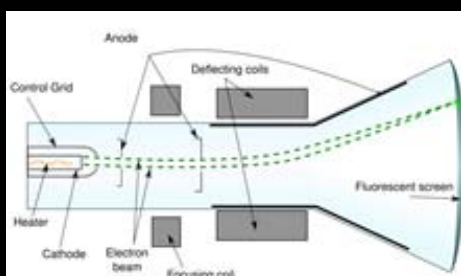
- Paprastas (sąlyginai)
- Ryškus
- Gerai perteikia spalvas (iki šiol pagal juos derinami spalvų perteikimo standartai)
- Sunkus
- Stiklinis
- Didelis (gilus)
- Ryja elektrą

## Naudojimas

CRT ekranai pamažu išeina iš apyvartos, tikėtina, kad po 5 metų jie liks tik egzotiškuose taikymuose (elektroninis mikroskopas, fotoelektronų kamera ir pan.)

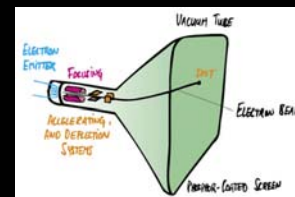


## Principinė schema



## Vaizdo formavimas

- Elektronų pluoštelis, kurį skleidžia šildomas katodas, pagreitinamas aukšta įtampa ir sufokusuojamas į ekraną, kuris padengtas fosforu ir šviečia. Vaikant spindulį po ekraną, o video signalu atitinkamai valdydami katodo srovę gauname vaizdelį.

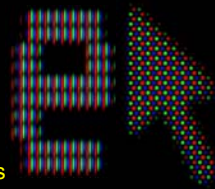


## Vaizdo formavimas

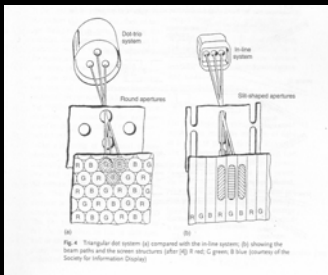
- Vaizdas gaunamas, skenuojant ekraną horizontaliai (eilučių skleistinė) ir vertikaliai (kadru skleistinė). Pirmasis dažnis – apie 100 kHz, antrasis – apie 50 Hz.
- SVGA ekrano raiška 1024x768 pikselių, kadru skleistinės dažnis – 75 Hz. Koks video signalo dažnis?

## Spalvotas vaizdas

- Spalvotam vaizdui reikia trijų skirtingų elektronų patrankų. Jos gali būti išdėstytos trikampi (delta-gun) arba linija (trinitron). Pirmuoju atveju ant trijų komponentų fosforo dedama šešėlinė kaukė (shadow mask), antruoju – apertūrinės grotelės (aperture grill). Fosforas padengiamas arba juostelėmis, arba taškučių triadomis...



## Šešėlinė kaukė ir apertūrinės grotelės



- Spinduliai eina skirtingais kampais ir pataiko į skirtingus fosforo taškučius

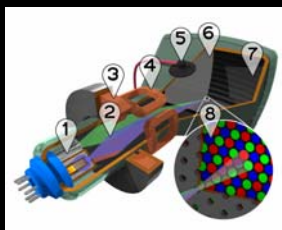
## Šešėlinė kaukė ir apertūrinės grotelės

- Šešėlinė kaukė pigesnė ir paprasčiau pagaminti.
- Apertūrinės grotelės leidžia nukreipti spindulius didesniais kampais (t.y. geresnis ekrano ilgio ir ploto santykis) bei leidžia pasiekti geresnę raišką.



## Kad būtų pasiektas geros kokybės vaizdas...

- Reikia labai tiksliai pagaminti vamzdį.
- Labai tiksliai atlenkti ir sufokusuoti elektronų pluoštelių.
- Nukreipimo sistemos gali būti elektrinės ir magnetinės



- 1 – Katodas (elektronų patranka)
- 2 – elektronų pluošteliai
- 3 – fokusavimo ritės
- 4 – atlenkimo ritės
- 5 – anodo jungtis
- 6 – šešėlinė kaukė
- 7 – fosforo ekranas su taškų triadomis
- 8 – fosforo vaizdas iš arti

## Kreipimo ritė (monitoriaus)

- Atlenkimo ritės geometrija – irgi nemažai burtų...



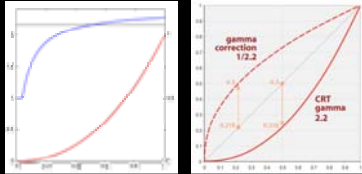
Technologija iki galo atidirbta: CRT ekrano kainoje apie 65% sudaro medžiagų kaina, t.y. nelabai išsena atpiginti...

## Gama faktorius

- Kadangi CRT vamzdis iš esmės yra triodas, jo srovė (o kartu ir vaizdo intensyvumas) priklauso nuo įtampos (video signalo amplitudės) ne tiesiškai, o kaip laipsninė funkcija:

$$I \sim V_S^\gamma$$

- Todėl, siekiant gauti tiesišką signalo atvaizdavimą, reikia atitinkamai iškreipti įeinantį video signalą. Tai vadinama gama korekcija ir ši operacija dažnai sutinkama atvaizdavimo taikymuose (pvz., leidyboje).



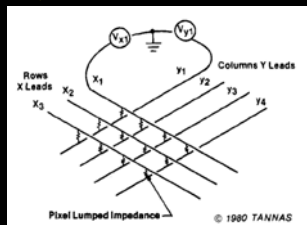
## Plokštieji ekranai

- Plokštieji ekranai – tai visi ne CRT technologija pagrįsti šviečiantys ekranai. Plokštumas reiškia, kad gylis ir įstrižainės santykis yra mažesnis nei 1:10 ar pan.



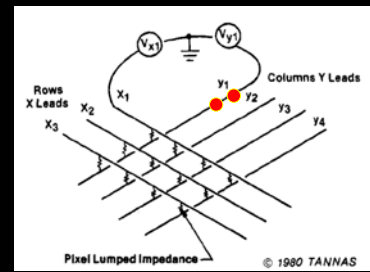
## Matricos adresavimas

- Visuose ekranuose elementai išdėstomi į stačiakampę matricą. Vienos rūšies elementų elektrodai (pvz., plusai) sujungiami stulpeliu, kitos – eilute. Prijungus tarp norimo x ir y įtampą, reikiamu elementu ima tekėti srovė.



## Matricos adresavimas

- Deja, tokioje schemoje įtampa atsiranda ir ant kitų pikselių

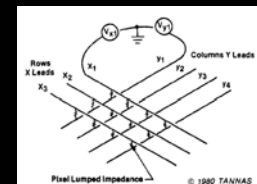


## Matricos adresavimas

- Jei išanalizuotume tokią ekvivalentinę grandinę pasinaudodami Kirchhoff'o dėsniais, pamatytume, kad potencialo kritimas ant 'išjungtų' pikselių yra maždaug 1/3 to, kas krinta ant įjungto pikselio. (512x512 matricioje turėtume 261222 lygtis įtampai ir 1024 lygtis srovei), tai gal nespėsime, tik konstatuosime, kad neįjungtas pikselis jaučia 1/3 įjungto pikselio įtampos.
- Šis reiškinys yra vadinamas pikselių kryžmine sąveika ir yra neišvengiamas, jei norime turėti nedidelį laidų kiekį.

## Matricos adresavimas: pasekmė

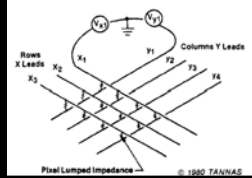
- Kad ekranas būtų kontrastingas, pikselio atsakas į 1/3 įtampos turi būti daug mažesnis (geriausia – nulinis), negu atsakas į visą įtampą, t.y. turi būti netiesinis.
- Dar viena problema iškyla, jei bandomė iš karto uždegti du pikselius skirtingose eilutėse ir stulpeliuose – užsidega visas kvadratas iš karto.



## Matricos adresavimas: pasekmė

- Todėl visi reikiami stulpeliai uždegami lygiagrečiai, o eilutės adresuojamos po vieną (eilučių skleistinė).
- Todėl augant eilučių skaičiui kartais nebeužtenka laiko įžiebtį norimą pikselį...
- Norint spręsti šitas adresavimo problemas, į matricą įvedama atmintis, t.y. daroma taip, kad pikselis liktų šviesti, kol nebus užgesintas.

Tai vadinamasis aktyvios matricos adresavimas, aptarsime vėliau



## Aktyvūs (šviesą generuojantys) ekranai

- Kaip teigia pavadinimas, tokių ekranų pikselis, pridėjus įtampą, generuoja šviesą patys.
- Displėjų apibūdina elektros į šviesą konversijos efektyvumas (fotonų galia/elektros galios)

$$P_{out} = hv \frac{p}{t} \quad \text{Fotonų sk.}$$

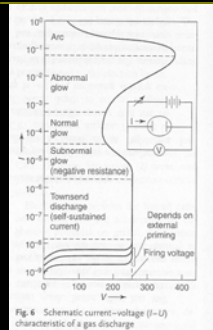
$$P_{in} = eV \frac{n}{t} \quad \text{Elektronų sk.}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{hv}{eV} \cdot \frac{p}{n} = \eta_E \cdot \eta_n$$

energetika      konversija

$\eta_E$  visada mažiau už vienatį, todėl aktyvūs ekranai visada ryja daugiau elektros negu pasyvūs

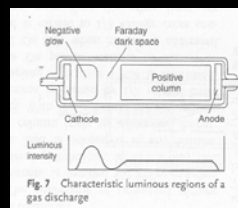
## Vienas iš būdų šviesai generuoti – tai išlydis dujose (plazminiai ekranai)



Išlydžiui būdinga žiauriai netiesinė voltamperinė charakteristika – labai palanku pikseliams adresuoti (t.y. jei 1/3 įtampa nepramuša dujų ir negeneruoja plazmos, tai turėsime gerą kontrastą).

Displėjams naudojamos inertinės dujos: Ne su 3-8% Xe ir trupučių Ar arba He. Slėgis displėjų elementuose būna maždaug  $7 \times 10^{-4}$  Pa (500 Torr).

## Išlydžio sritys



Kambariams apšviesti naudojamas teigiamas švytėjimo stulpas. Ekranuose atstumas tarp elektrodų ribotas, o teigiamas stulpas susitraukia, kai jį sumažini. Todėl belieka naudotis neigiamu stulpu, kurio efektyvumas daug mažesnis negu teigiamu. Tai sumažina plazminių ekranų efektyvumą.

## Išlydžio konversija į šviesą

Konvertuojama kaip visada – fosforu

- $(Y,Gd)BO_3:Tb^{3+}$  - raudonas
- $ZnSiO_4:Mn^{2+}$  - žalias
- $BaMgAl_{10}O_{17}$  – mėlynas

• Žadinanti šviesa – ksenono UV linija ties 147 nm

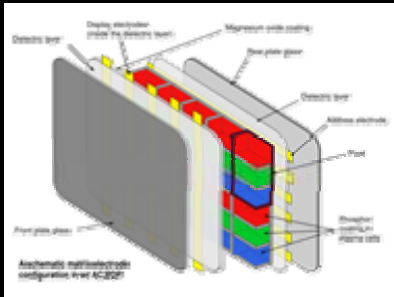
## Kintamos srovės plazminiai ekranai

- Šiuo metu plačiausiai paplitę spalvoti AC plazminiai ekranai

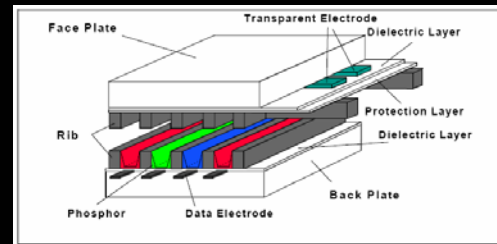


## Kintamos srovės plazminiai ekranai

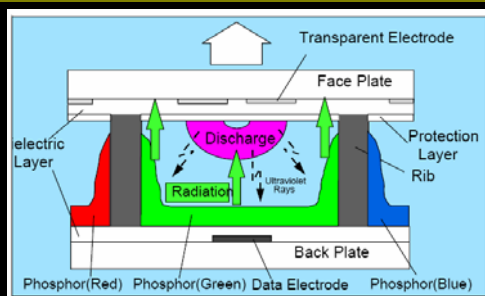
- Šiuo metu plačiausiai paplitę spalvoti AC plazminiai ekranai



## Konstrukcija



## Konstrukcija



## Dielektriko plokštelės suteikia atmintį

- Dielektriko plokštelės atlieka dvi funkcijas:
  - Neleidžia išlydžiui pereiti į lankinį režimą
  - Dirba kaip kondensatorius ir saugo įtampą, kad pikselis ilgiau šviestų.
- MgO sluoksniukas pailgina dielektriko gyvenimą ir pamažina antrinės elektronų emisijos slenkstį.

## Veikimas

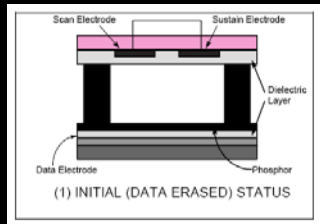
- Dažniausiai pikselis žadinamas 50-60 kHz įtampa.
- Pirmojo periodo metu įkraunamas kondensatorius, kuris kitame periode padeda įžiebtį išlydį. Visa matrica žadinama žemesne kintamąja 'palaikymo įtampa', kuri palaiko išlydį jau įžiebtuose pikseliuose.
- Jei reikia įžiebtį pikselį, mostelime aukštą įtampą fazėje su palaikymo įtampa, jei užgesinti – priešfazėje...

## Veikimas

1. Visi elementai nešviečia
2. Duomenų įrašymo išlydis
3. Įrašyti duomenys
4. Duomenų palaikymo išlydis 1
5. Duomenų palaikymo išlydis 2
6. Duomenų trynimo išlydis

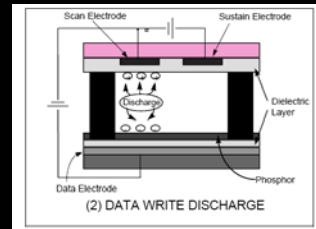
## Veikimas

Visi elementai nešviečia



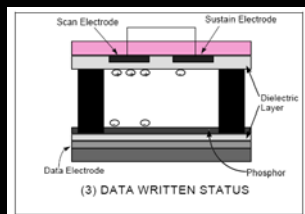
## Veikimas

Duomenų įrašymo išlydis: fazėje su palaikymu



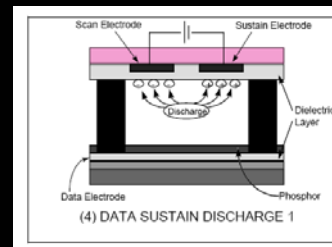
## Veikimas

Įrašyti duomenys



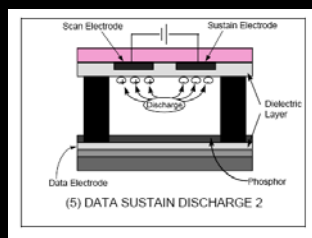
## Veikimas

Palaikymo išlydis 1



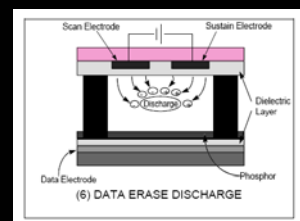
## Veikimas

Palaikymo išlydis 2

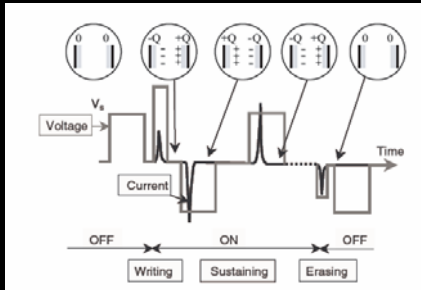


## Veikimas

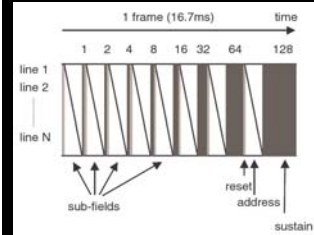
Trynimo išlydis: priešfazėje su palaikymu



## Veikimas: valdančios įtampos

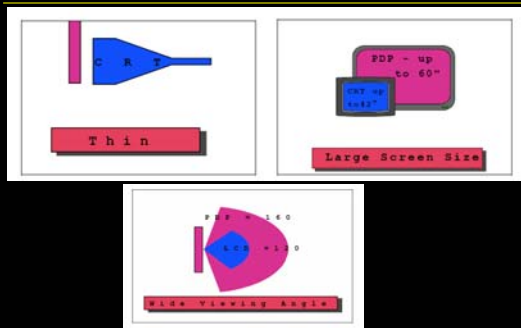


## Veikimas: binarinis šviesumo lygių valdymas



Trynimo ir įrašymo trukmė vienoda visuose sub-kadruose, o palaikymo – skiriasi kaip dvejetainiai.

## Privalumai ir trūkumai



## Trūkumai

1. Fosforo degradacija (anksčiau buvo 10000 valandų, dabartiniai iki 60000 valandų, t.y. 27 metų).
2. Brangi gamyba (įskaitant valdančią elektroniką)
3. Blogas energijos našumas – 1 lm/W

## Plazminių ekranų gamintojai

1. NEC
2. Panasonic
3. Fujitsu/Hitachi
4. LG
5. Samsung

## Vakuuminiai fluorescuojantys ekranai (VFD)

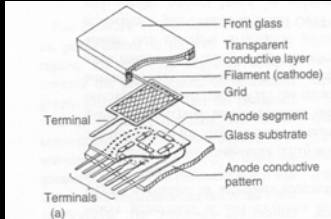
- Ryškūs, bet nelabai informatyvūs užrašai
- Gerai šviečia, nereikia didelių įtampų





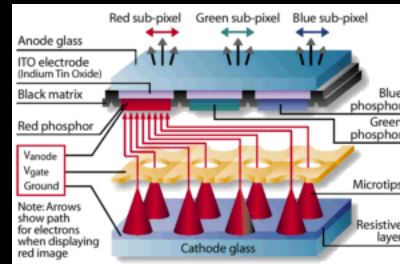
## Vakuuminiai fluorescuojantys ekranai (VFD)

- Triodas, padengtas mažos energijos (20 eV) ZnO:Zn fosforu, kuris šviečia žaliai/melsvai.



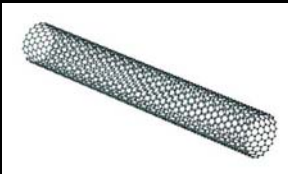
## Lauko emisijos ekranai (FED)

- Elektronai tuneliuodami išsoka iš nusmailintų galiukų ties kiekvienu pikseliu



## Lauko emisijos ekranai (FED)

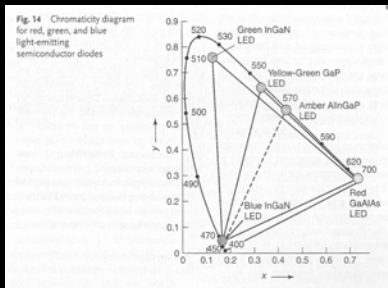
- Vietoj galiukų naudojami anglies nanovamzdėliai
- Jų kiekviename pikselyje yra daug, todėl taškai nenuvedsia kaip LCD.
- Technologija kol kas eksperimentinė... Prognozuojama 2009
- Parametrai turėtų būti neblogi, tokie kaip CRT, nes technologija panaši.



## Elektroluminescenciniai ekranai

1. PN sandūros, per kurias leidžiame srovę ir jos šviečia (šviestukai)
  1. LED'ai
  2. OLED'ai (mažos šviečiančios molekulės)
  3. PLED'ai (šviečiantys polimerai)
2. Impulsinė aktyvacija esant dideliems elektriniams laukams

## LED ekranai: ilgai nebuvo mėlynų



## LED ekranai



## OLED ir PLED ekranai (organic ir polymer)

- Tai iš esmės dvisluoksnė struktūra, sudaryta iš skylių transporto sluoksnio (HTL) ir elektronų transporto sluoksnio (ETL), įterptų tarp dviejų elektrodų, kurių vienas yra skaidrus.
- Kai elektronas ir skylė susitinka ant vienos molekulės, sukuriama sužadinta jos būseną (eksitoną). Jis rekombinuoja, išspinduliuodamas fotoną.

## OLED ir PLED ekranai

- Dvi technologijos:
  - Mažų molekulių (OLED)
  - Polimerinių organinių medžiagų (PLED)

## OLED ir PLED ekranai (organic ir polymer)

- Potencialiai barjerai šalia sandūros 'pagauna' krūvininkus ir padidina jų rekombinacijos tikimybę. Radiacinę rekombinaciją galima pagerinti, įterpiant aplink sandūrą fluorescuojančius centrus (t.y. suformuojamas emisijos sluoksnis - EML);
- Trisluoksnė struktūra leidžia išgauti įvairias spalvas.

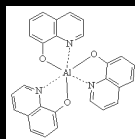
## OLED technologija

- Skylių (p) ir elektronų (n) transporto sluoksniai OLEDuose gaminami iš skirtingų medžiagų.
- Skylių elektrodas (anodas) daromas iš indžio alavo oksido (ITO), kuris
  - Skaidrus
  - Turi didelį išlaisvinimo darbą, kurio reikia, kad skylės būtų injektuojamos į p sritį.
- Elektronus injektuojantis elektronas gaminamas iš Ca, Ba, Yb Al...

## OLED ekranai

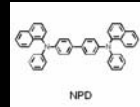
- Dėl sukinių statistikos, singletų (šviečiančių būsenų) išieiga yra tik 25%, todėl efektyvumą didina:
  - Fosforescuojančiomis priemonėmis (PHOLED).
  - Sunkiųjų metalų atomai (sukinio-orbitos sąveika).

## OLED ekranai: mažos molekulės



ETL medžiaga: tris-8-hydroxyquinoline, Alq.

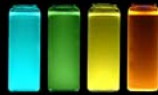
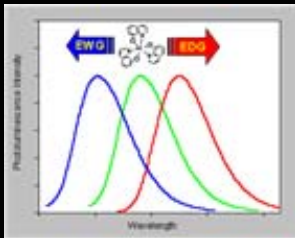
HTL medžiaga: N,N'-di-1-naphthyl-N,N'-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine (NPD)



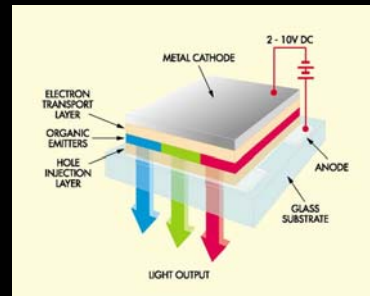
## OLED ekranai: mažos molekulės

ETL medžiaga: tris-8-hydroxyquinoline, Alq.

Pažaidus su ja, gaunamos įvairios spalvos...



## OLED ekranai: mažos molekulės



## OLED ekranai: gamyba

- Sluoksnių storiai labai maži, palyginus su LED'ais – apie 100 nm. Gaminami garinant sluoksnelius vakuume (Organic vapour phase deposition, vacuum thermal evaporation).
- Formuojant įvairius pikselius, naudojamos šešėlinės kaukės. Reikia didelio tikslumo ir gana brangu.

## OLED ekranai: privalumai ir trūkumai

- Ekranai spalvoti ir gražūs
- Ploni
- Greiti
- Ryškūs
- Platus apžvalgos kampas
- Lengva srove valdyti ryškumą
- Jautrūs aplinkai, trumpokai gyvena
- Netinka fotolitografijai (sunku padaryti matricas)

## OLED ekranai



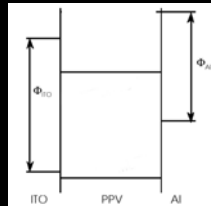
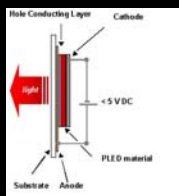
## PLED ekranai

- Gaminami iš konjuguotų polimerų, kuriuos galima tiesiog uždažyti ant pagrindo – greit, pigu ir skanu ☺.



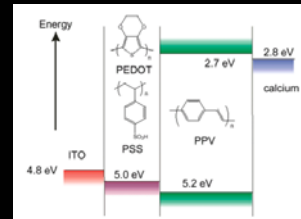
## PLED pagrindas: konjuguoti polimerai

- Struktūra – PPV ar kito polimero sumuštinis tarp dviejų (elektronus ir skyles injektuojančių) elektrodų (pvz., ITO ir Mg, Ca, Al)



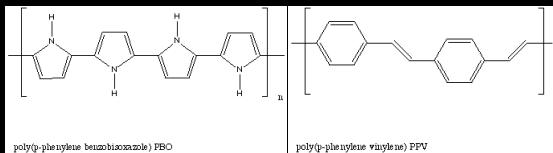
## PLED pagrindas: konjuguoti polimerai

- Praktiškai užtenka įdėti PPV tarp skyles ir elektronus injektuojančių elektrodų ir jis ima šviesti... Bet įdėjus papildomų sluoksnių pagerėja skylių injekcija, auga našumas



## Pagrindas: konjuguoti polimerai

- Polimerai su besikaitaliojančiomis viengubomis C–C ir dvigubomis C=C jungtimis.



- Tokiai struktūrai būdingos puslaidininkio savybės

## PLED ekranai

- Pigūs (nereikia vakuumo, galima tepti ar spausdinti rašaliniu printeriu);
- Sunkoka varijuoti spalvas (chemija iki galo neaiški). Bandoma naudoti dendrimerus, derinant paprastų molekulių tirpalo technologiją ir mažų molekulių fluorescencijos tuningavimo galimybę.
- Dėl pigios technologijos gali paplsti kai kuriose rinkose...