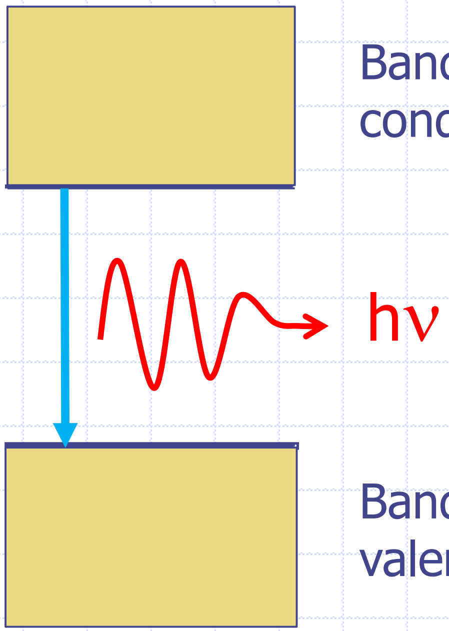
Giunzione p-n :

applicazioni: LED e laser a semiconduttore

La ricombinazione di coppie-elettrone lacuna può dar luogo all’emissione di luce per «ricombinazione radiativa»

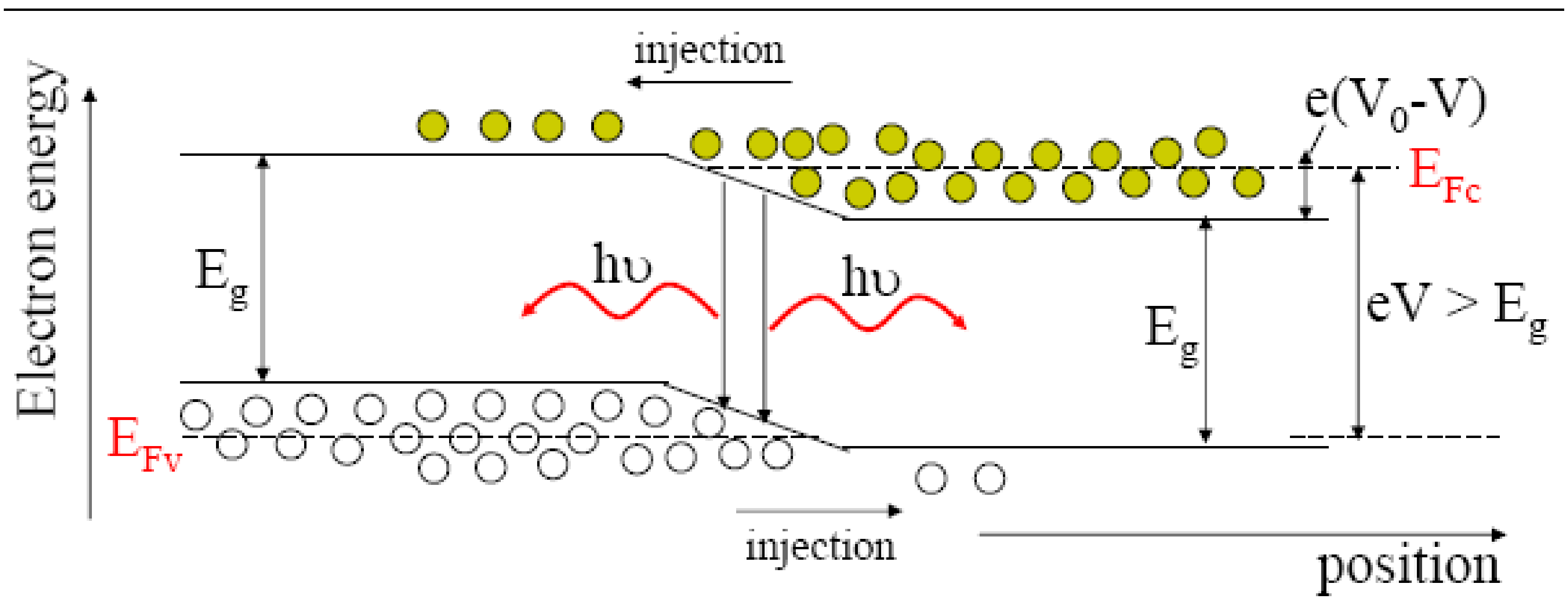


l’energia dei fotoni emessi è pari all’energy-gap del semiconduttore

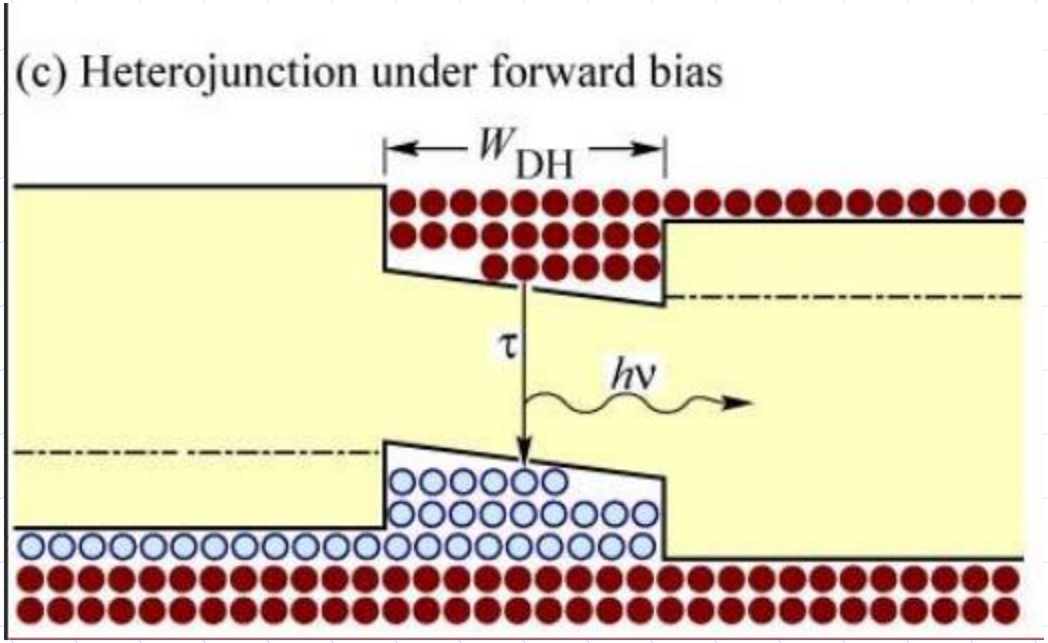
Questo processo è molto più probabile nei semiconduttori composti III-V che in silicio: per i semiconduttori III-V nel processo di ricombinazione la quantità di moto è automaticamente conservata; nel silicio è necessario un processo a tre corpi (elettrone, lacuna, vibrazione del reticolo cristallino), che ha minore probabilità

La probabilità di ricombinazione è proporzionale al prodotto della concentrazione di elettroni e lacune np: se usiamo una giunzione pn , i portatori diffondono in una regione troppo estesa e l'emissione è poco efficiente

è necessario *confinare* i portatori



Si usa una eterogiunzione tra materiali con diverso energy gap, in modo da «confinare» gli elettroni e le lacune in una «buca di potenziale» dove, fuori equilibrio, il prodotto np è elevatissimo



Scegliendo opportunamente il materiale nel quale avviene la ricombinazione si ottengono diodi emettitori di luce (LED) di lunghezza d'onda diversa

Wavelength vs Bandgap (material)

Si

E=1.12 eV (infrared)

GaAs

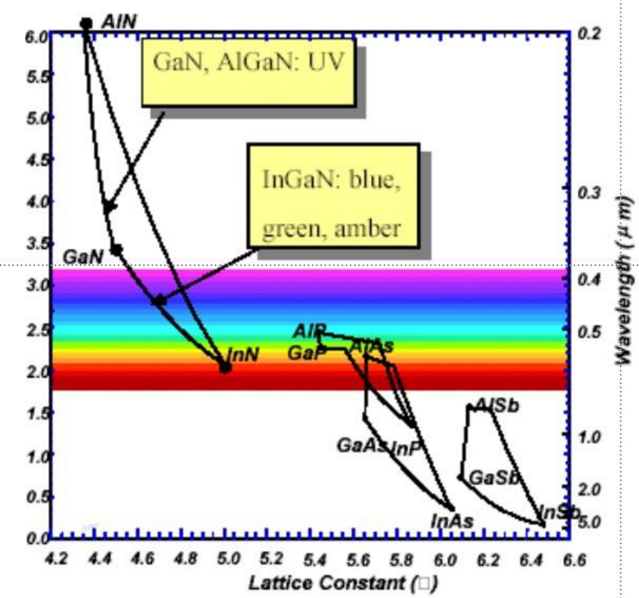
E=1.42 eV (infrared)

$Al_yIn_xGa_{1-x-y}P$

E~1.3→2.5 eV (red → yellow)

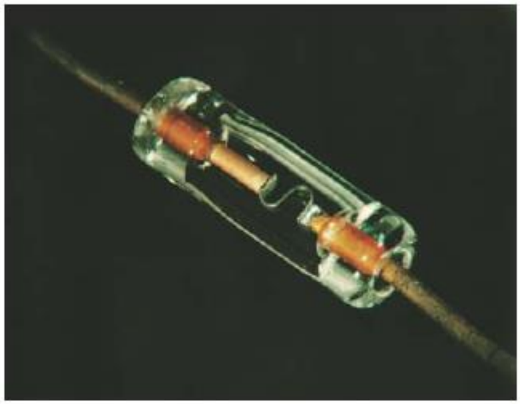
$Al_yIn_xGa_{1-x-y}N$

E~2.5→6 eV (green→… UV)

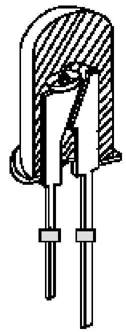


Visible light emission

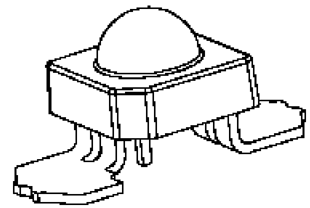
Evolution of LEDs → Towards higher power levels



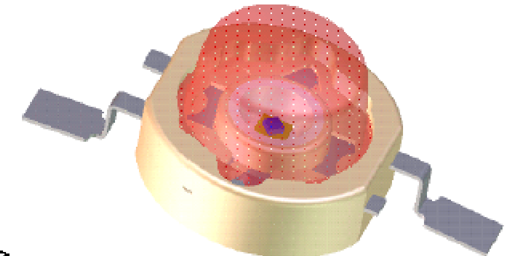
1962



P_{max}~0.1W
150-200 K/W
1970
Standard 5mm Lamp



P_{max}~0.2-0.4W
50 K/W
1994
LumiLeds SnapLED™



P_{max}~0.6-4.0W
9-14 K/W
1998
LumiLeds Luxeon™

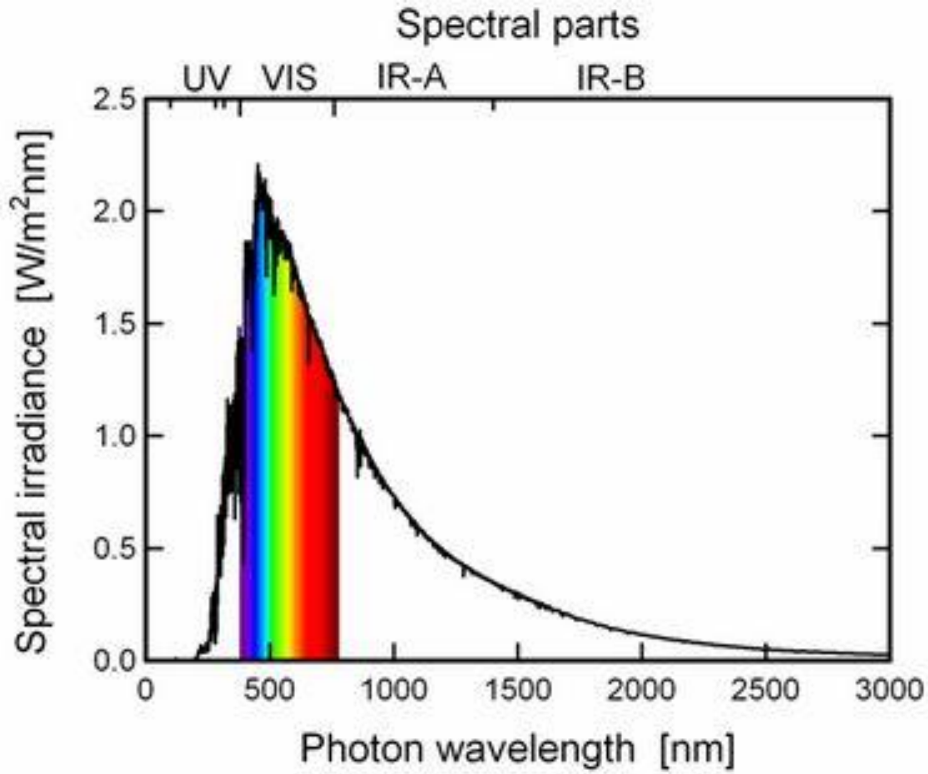
P_{max}~ 4.0W
10 K/W

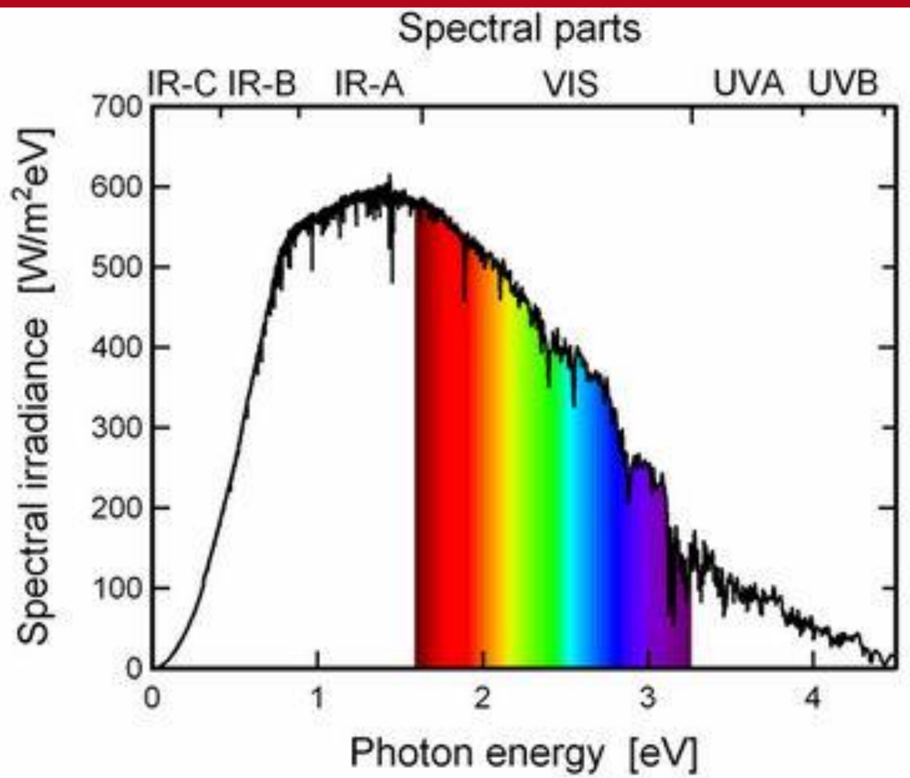
LumiLeds Luxeon™

CREE XML
1000 lm at 100 lm/W,
Rth=2.5 K/W

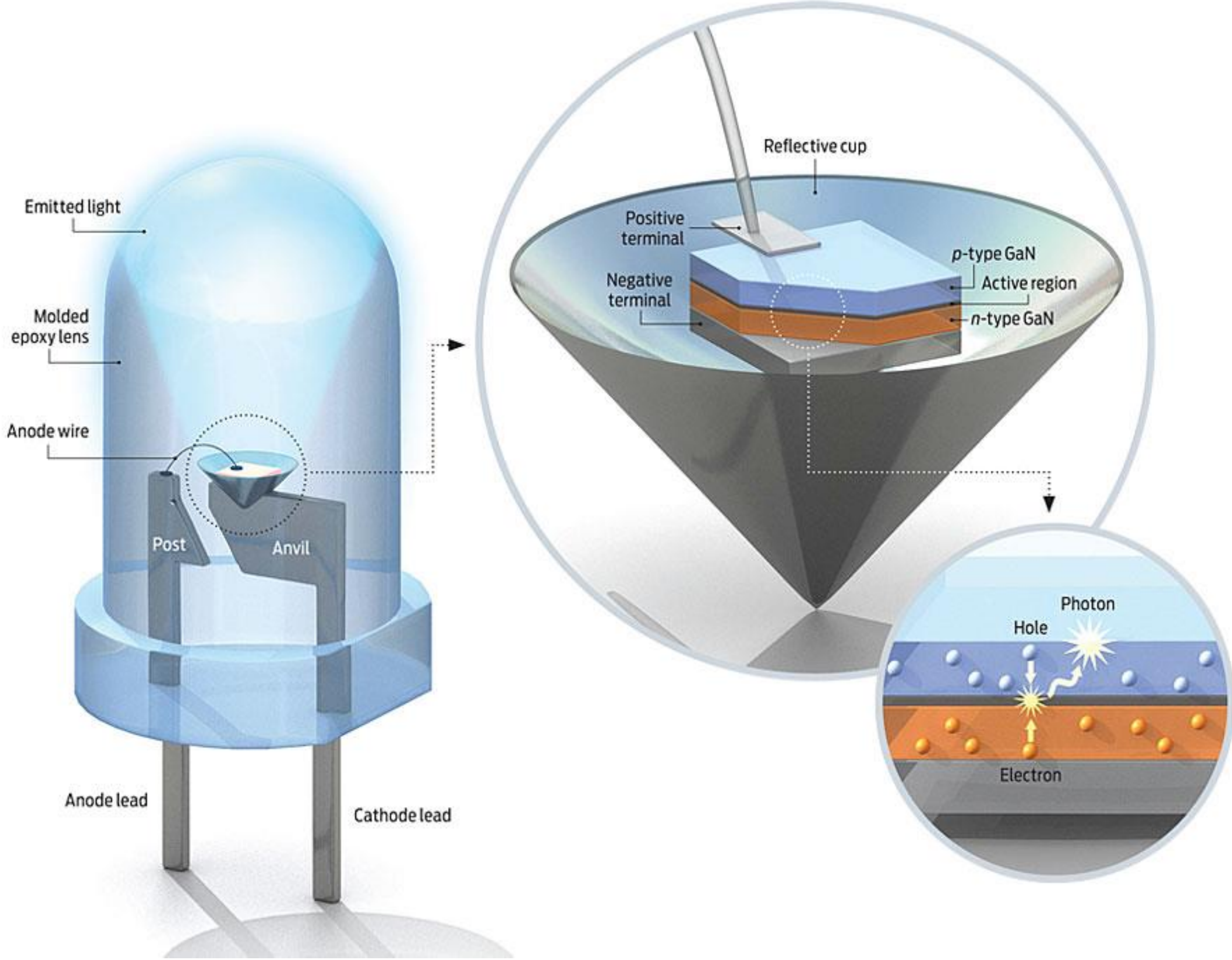
SHARP Megazeni,
2600 lm at 100 lm/W

Our “reference” source

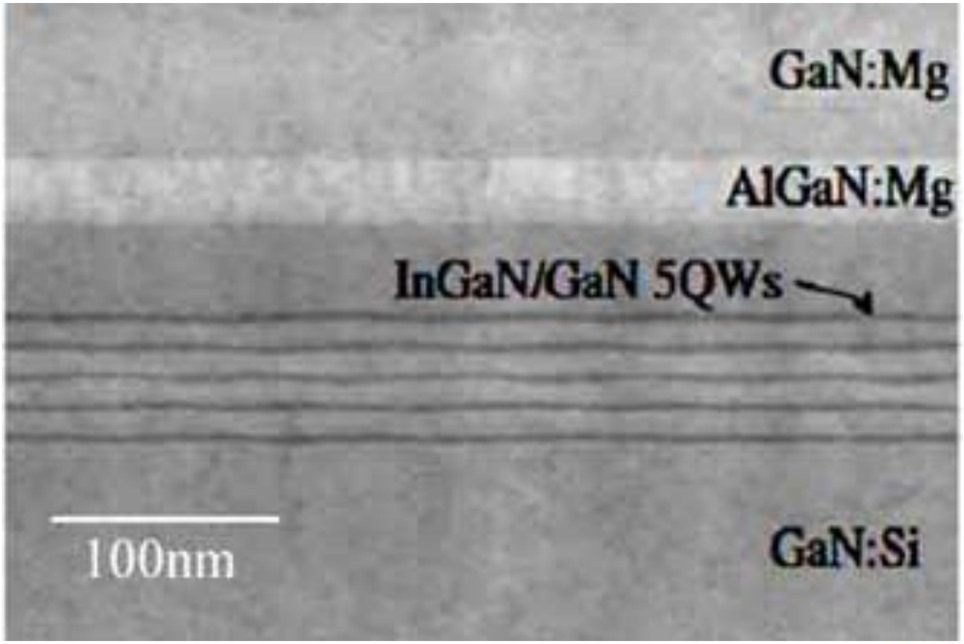




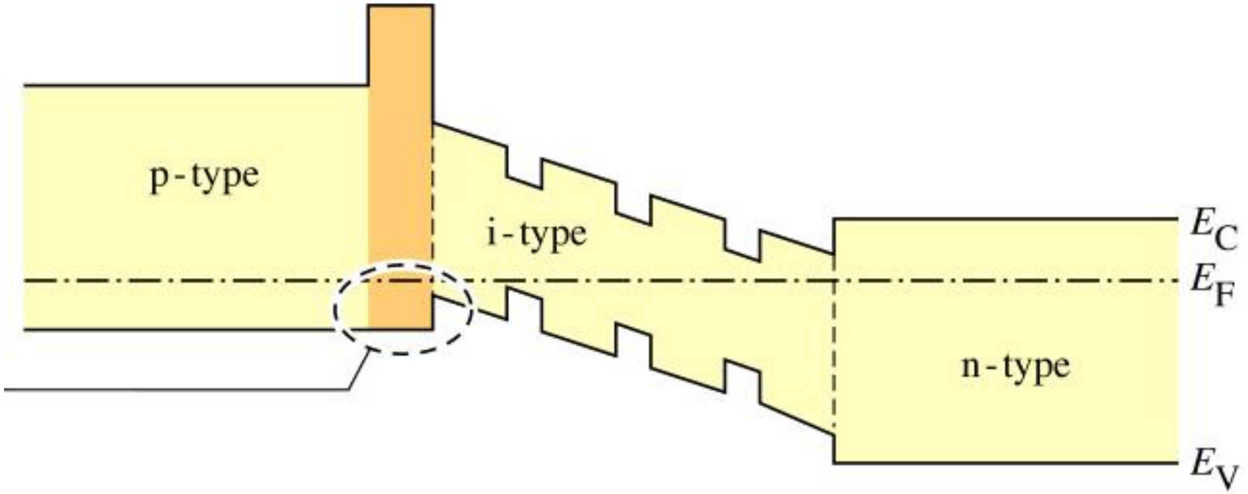
LED: basic structure



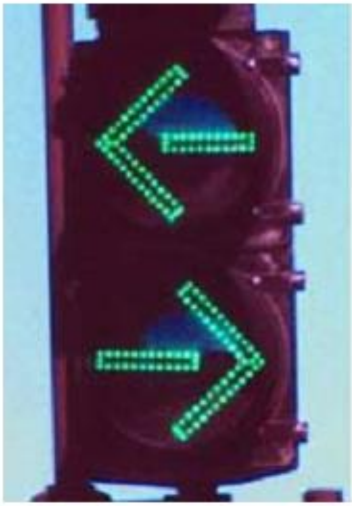
Multi-quantum well structure

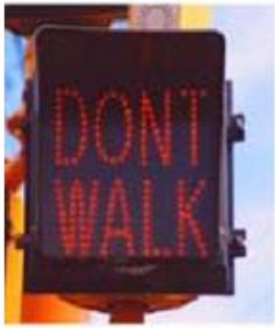


Emitted photons proportional to Bnp

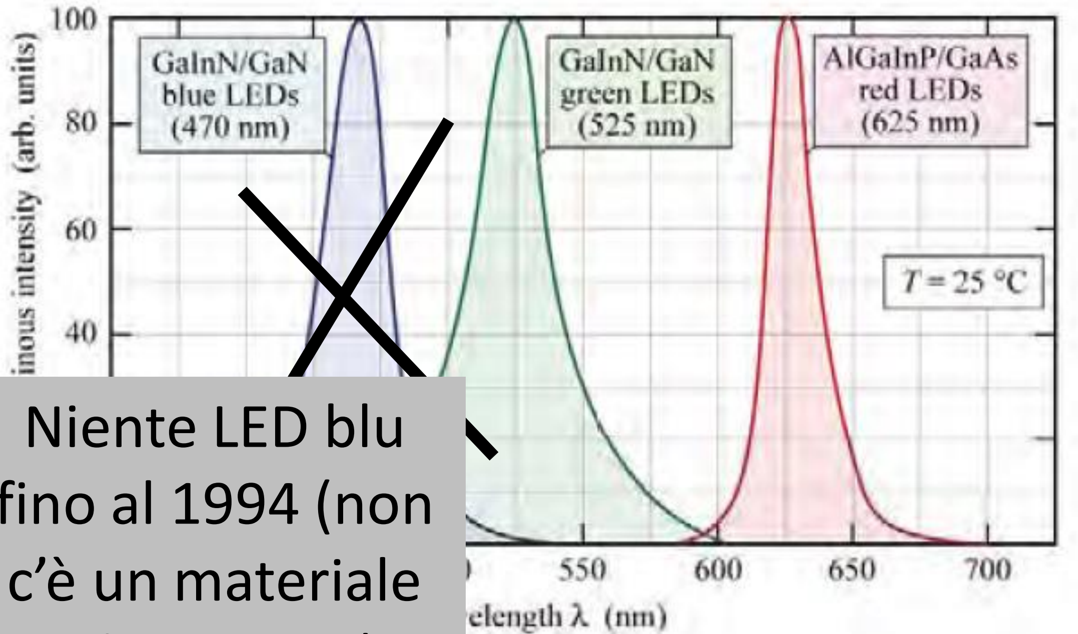


1962-1990: i LED come «indicatori» (bassa potenza)





LED ad alta efficienza



Niente LED blu fino al 1994 (non c'è un materiale adeguato!!!)

È impossibile ottenere luce bianca!

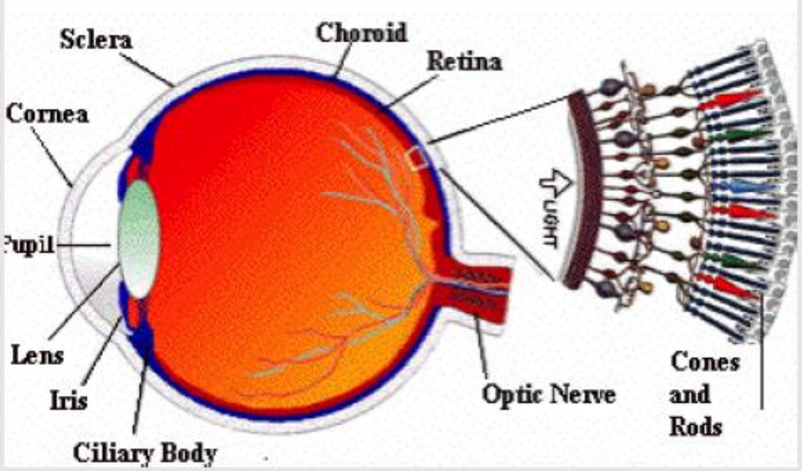
- Luce praticamente monocromatica (lunghezza d'onda dipende dal semiconduttore)
- Tempo di vita 10000 -100000 ore
- Efficienza interna ~ 90%

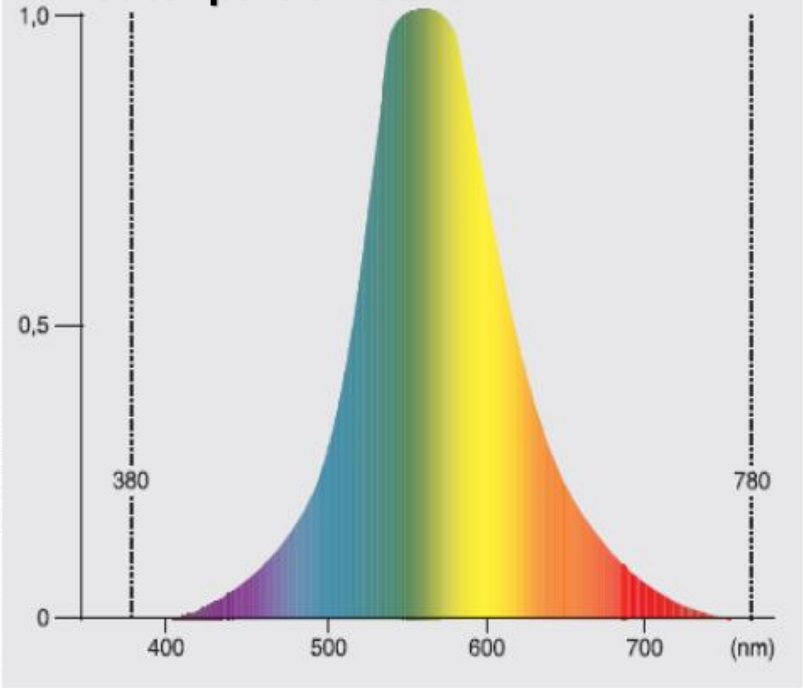
Light Perception

Perception of the Human Eye

- 3 color cones (RGB)
- V(λ) = green sensitivity
- Additive color mixing → very accurate color perception

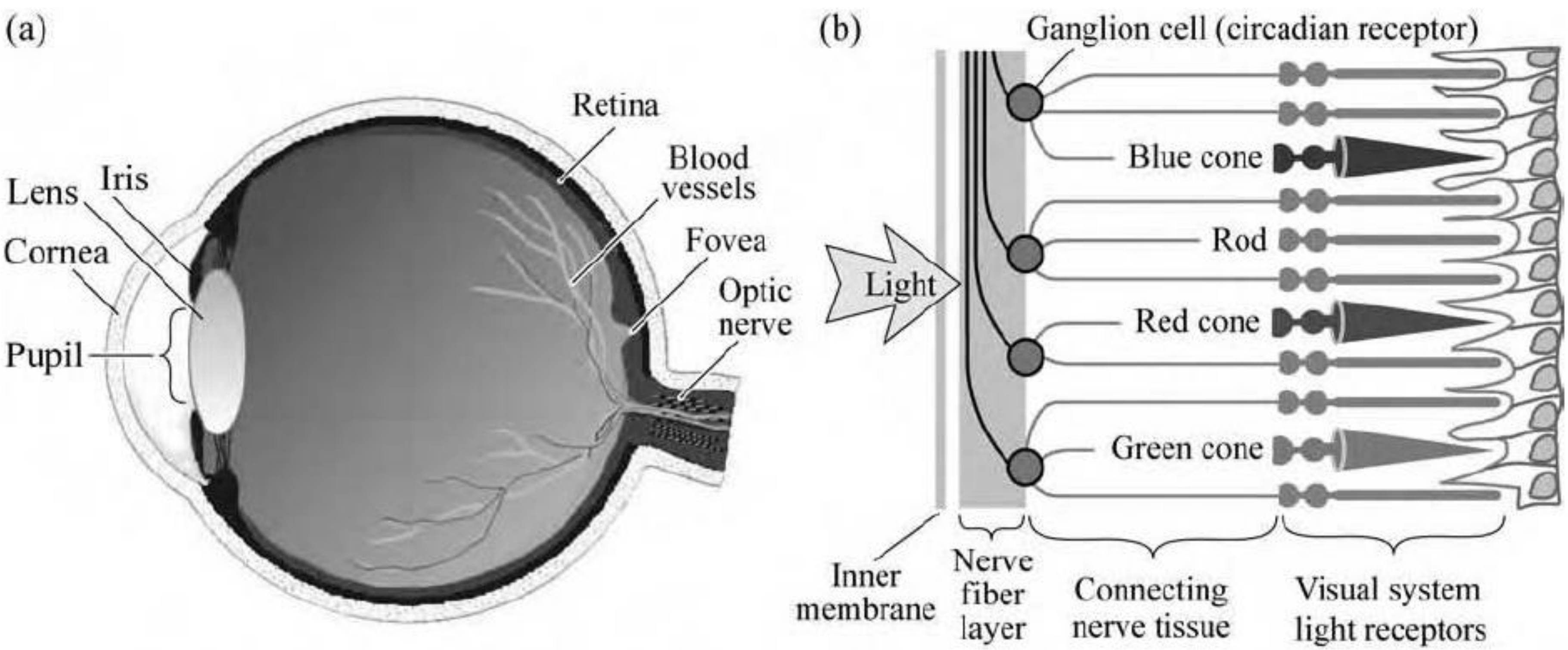
•Cones: located at the center of the retina, devoted to color vision (6 M in each eye, RGB)
•Rod Cells: devoted to night vision, in the outer part of retina



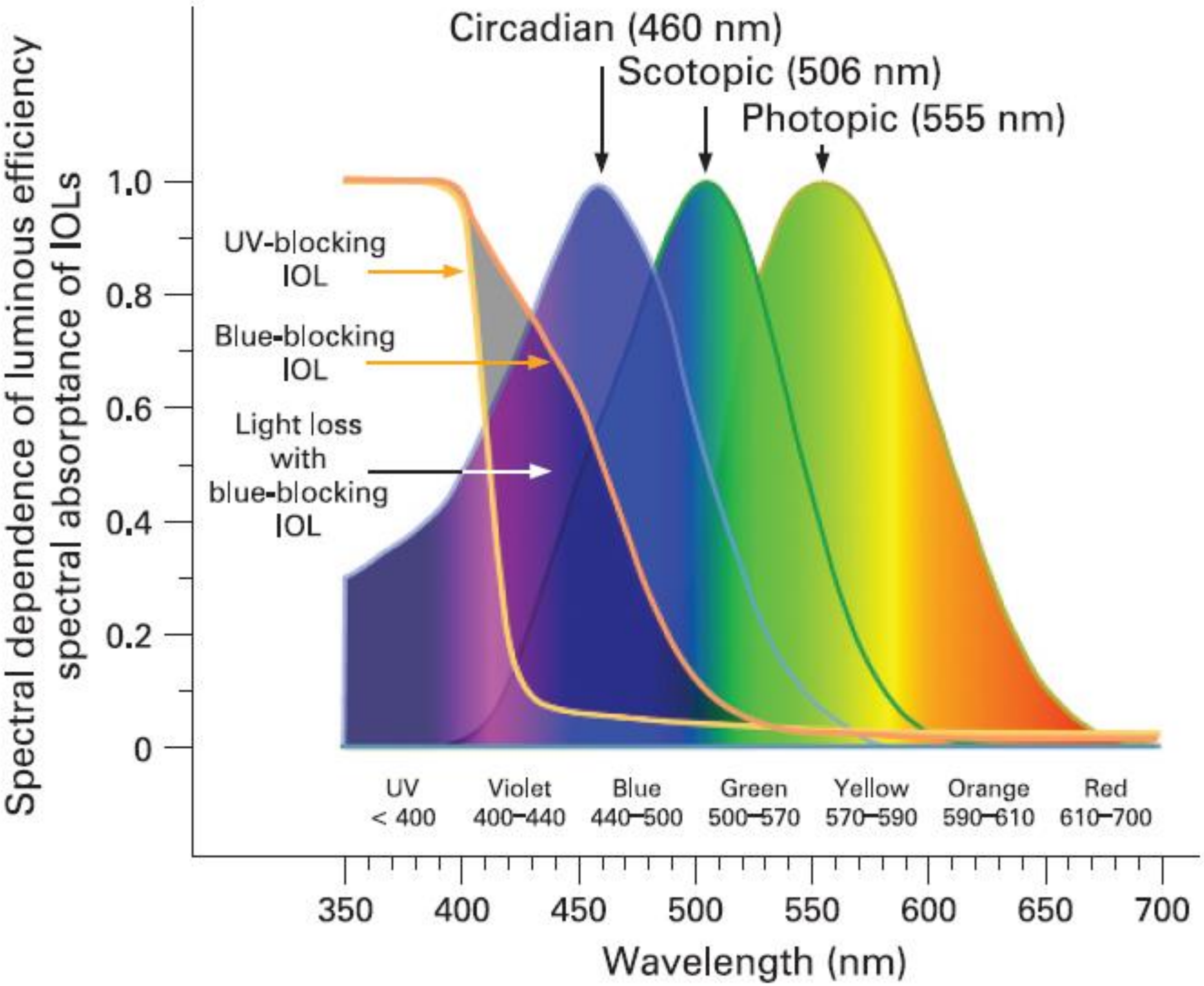


Eye sensitivity curve V(λ)

Light Perception

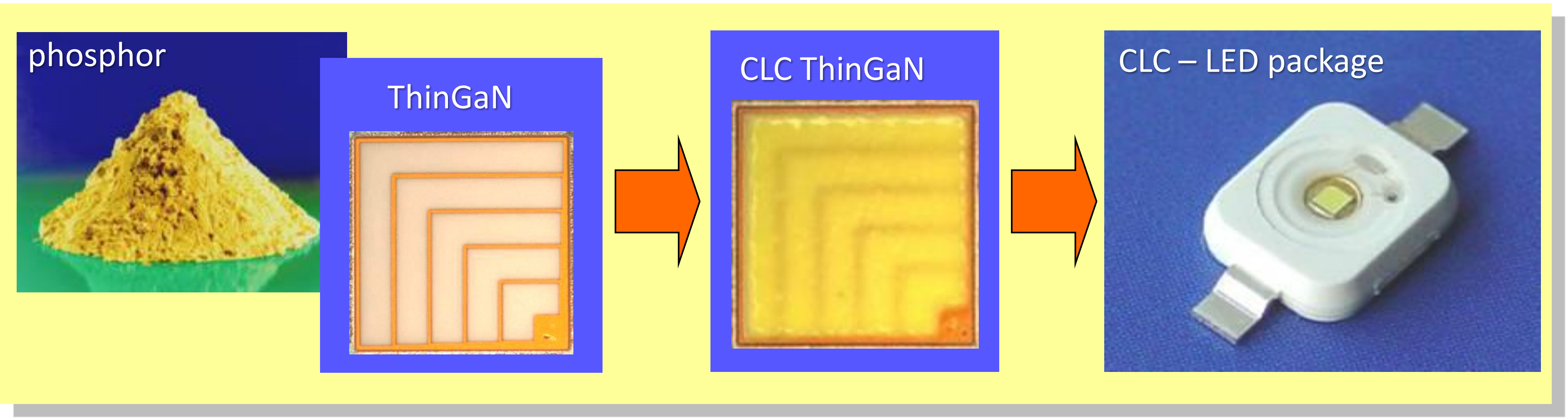


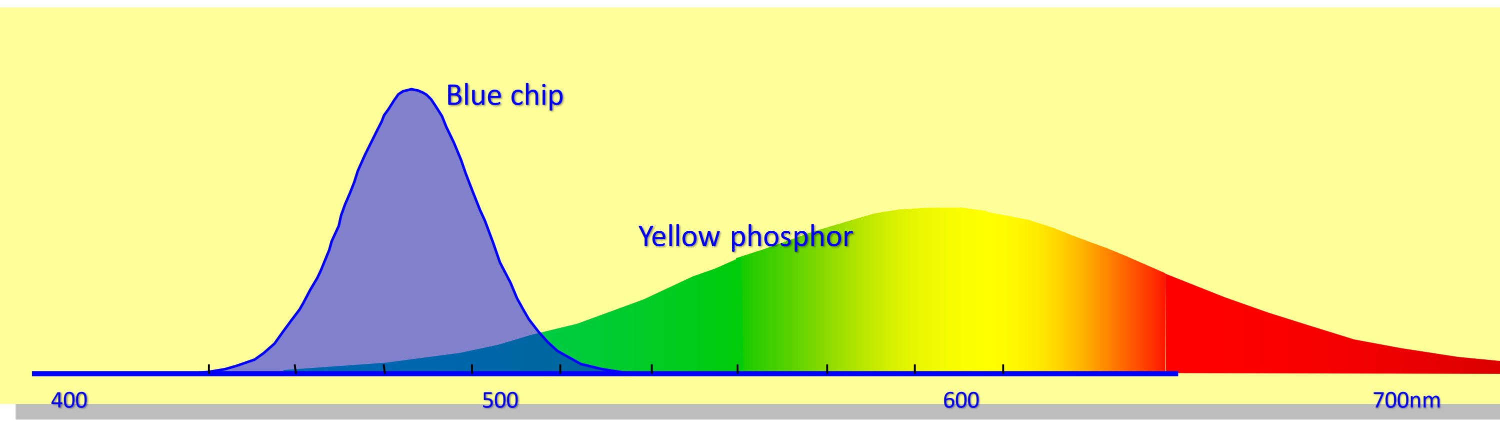
Light Perception



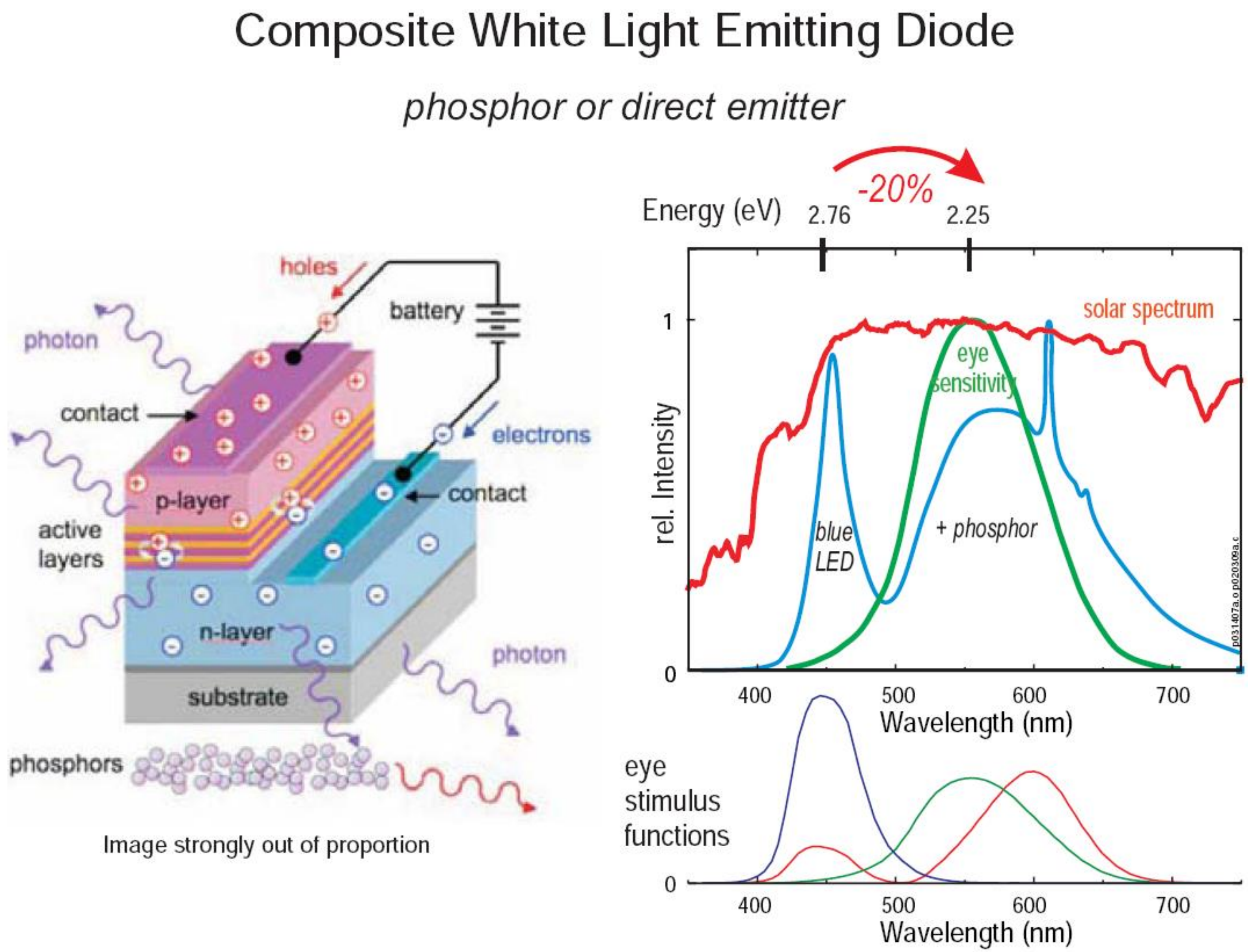
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Struttura di un LED bianco





Struttura di un LED «multi quantum well»



Efficiency loss mechanisms in LEDs

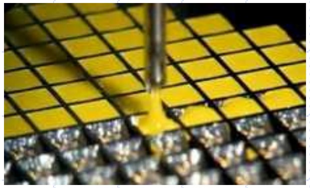
Wall Plug, 1.12 W

1 W dc

Conversion Efficiency (89 %)

550 mW (optical)

External Efficiency(55 %)

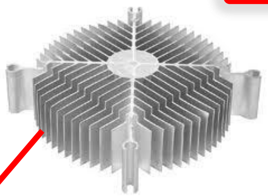


132 lm

Conversion Efficiency → 240 lm/W

125 lm

Efficiency → 95 %



110 lm

Thermal → 88 %

Decrease in LED efficiency, from wall plug to luminaire (slide based on measurements of LightCube SRL)

LightCube

Images taken from;

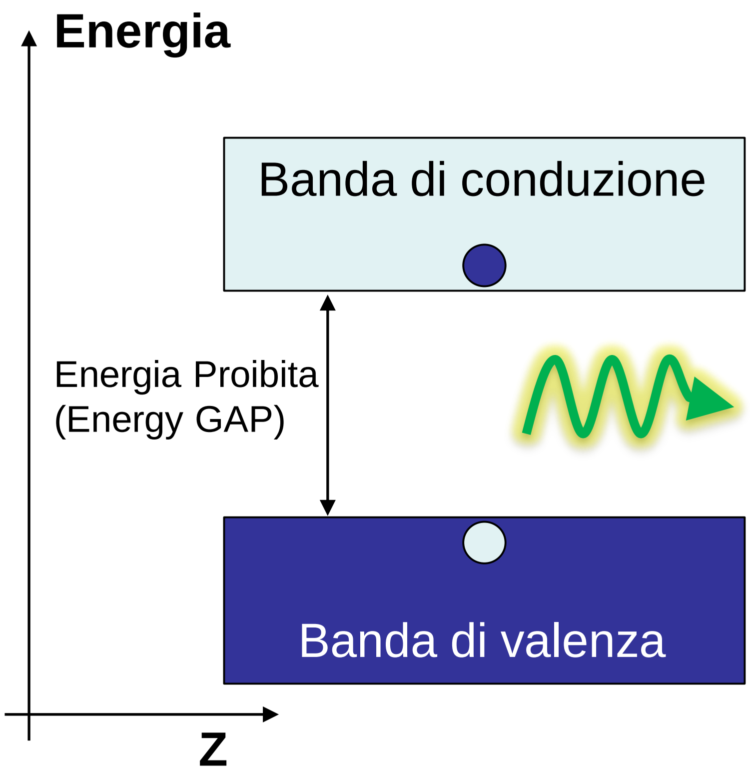
http://smartlighting.rpi.edu
http://parts.digikey.com/1/parts-kws/20w-led-driver
http://www.essemtec.com/
http://reefbuilders.com
http://www.aluminum-solar-frame.com

Università degli Studi di Padova

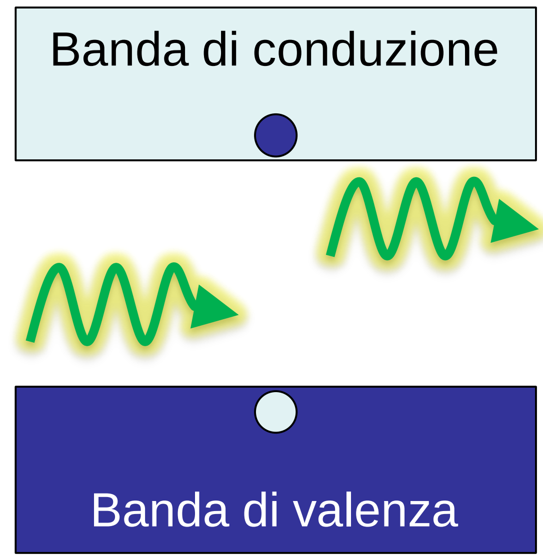
laser a semiconduttore

Emissione spontanea ed emissione stimolata

Abbiamo visto che è possibile emettere “luce” attraverso un Light Emitting Diode (LED)

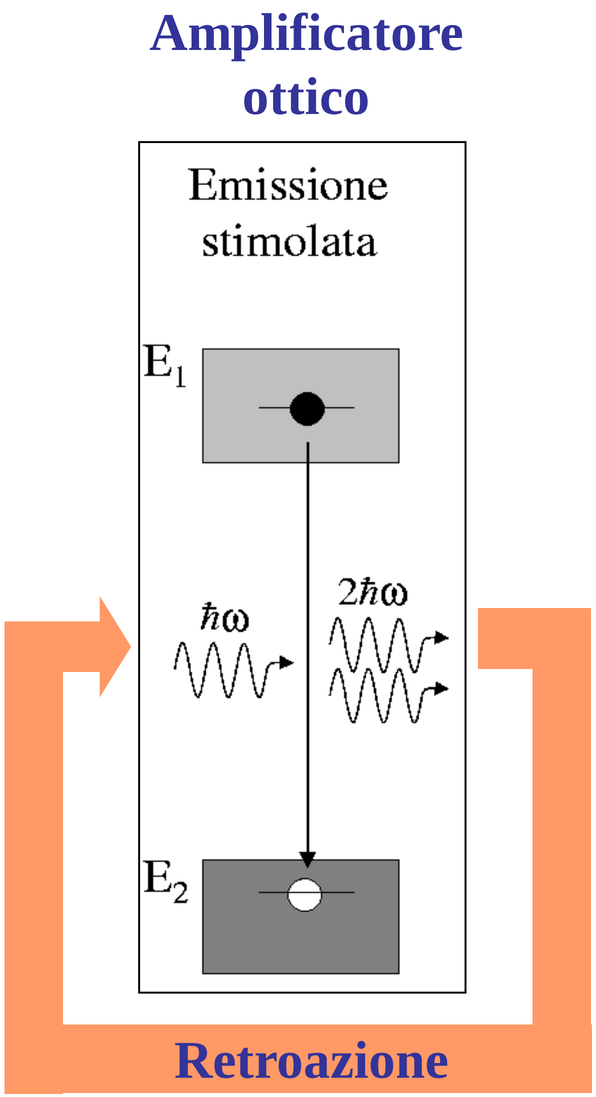


Emissione Spontanea (LED)



Emissione Stimolata (Amplificatore ottico)

LASER



LASER = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

In realtà il Laser è un oscillatore che emette radiazione elettromagnetica ad una determinata frequenza.
Come ogni altro oscillatore è formato da
- un amplificatore (di radiazione elettromagnetica)
- una retroazione (positiva)

Diodi Laser:

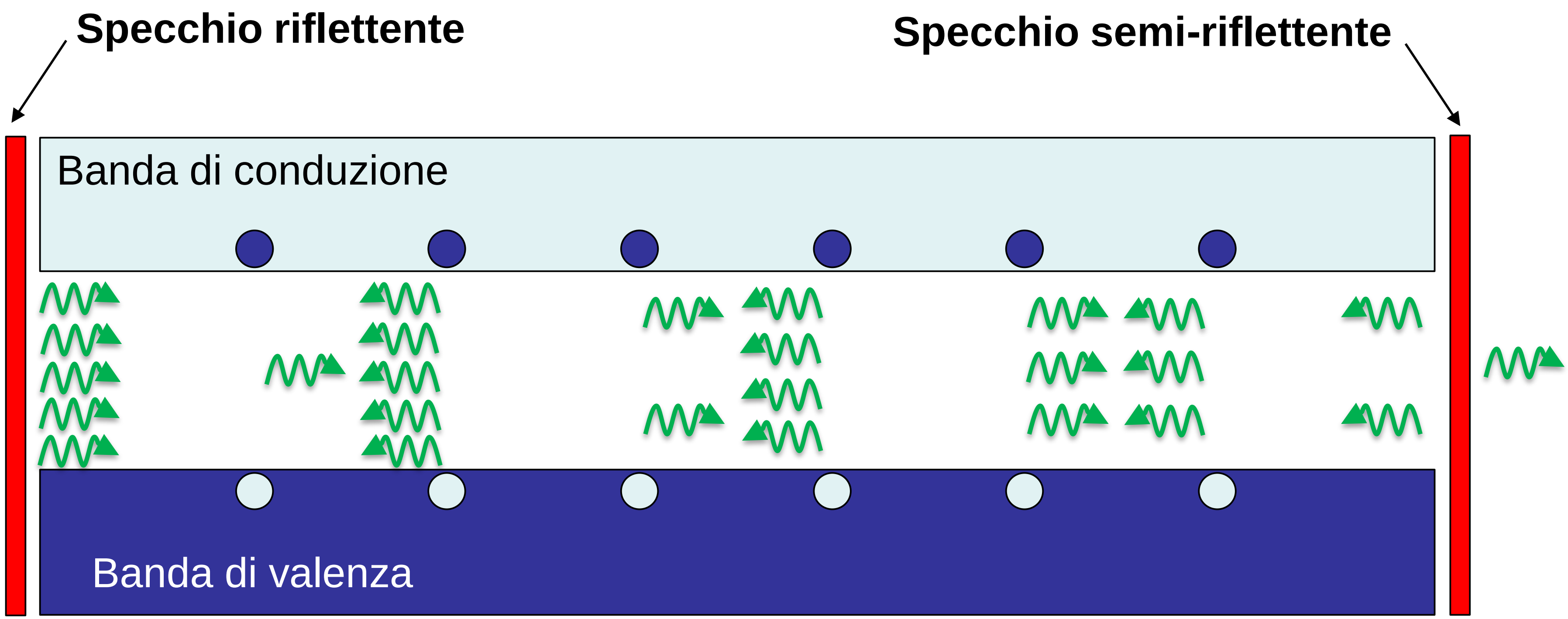
Amplificatore ottico: Diodo a semiconduttore che emette per emissione stimolata

Retroazione: Cavità ottica (specchi semiriflettenti)

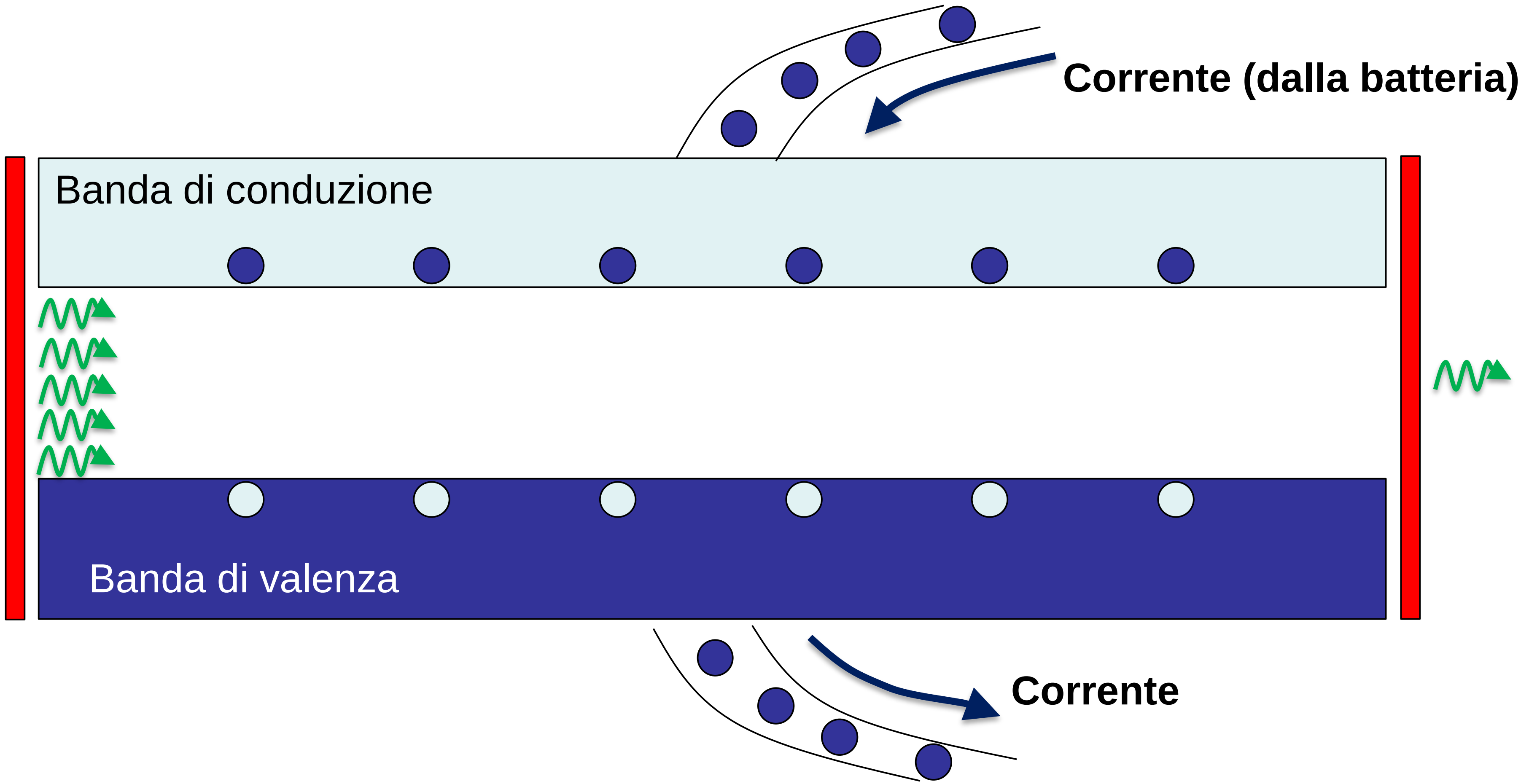
1960 T.H. Maiman realizza il primo laser (a rubino)

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

LASER: principio di funzionamento



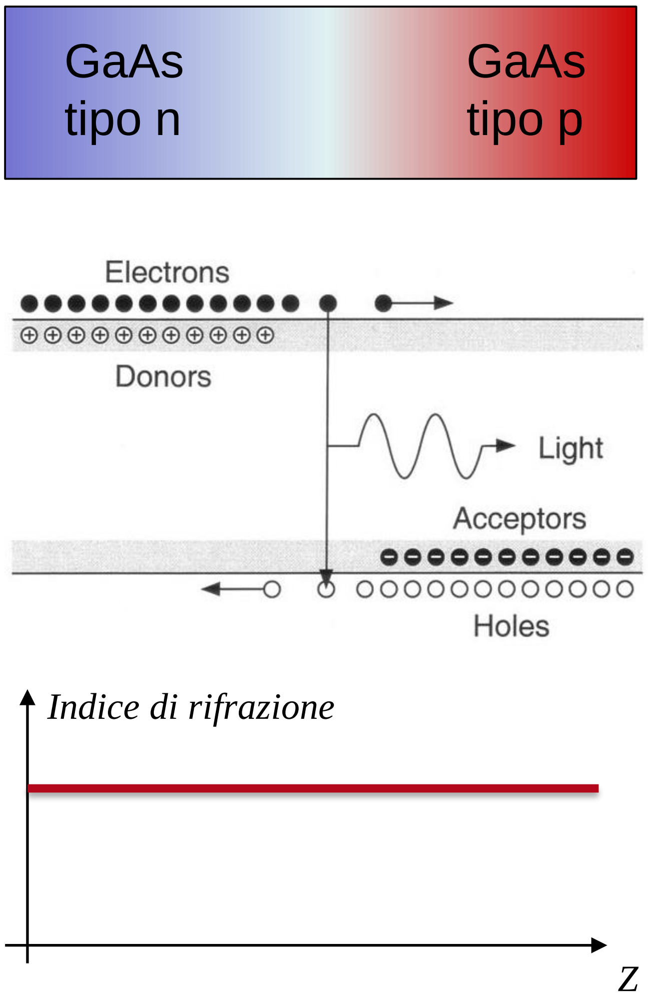
LASER: principio di funzionamento



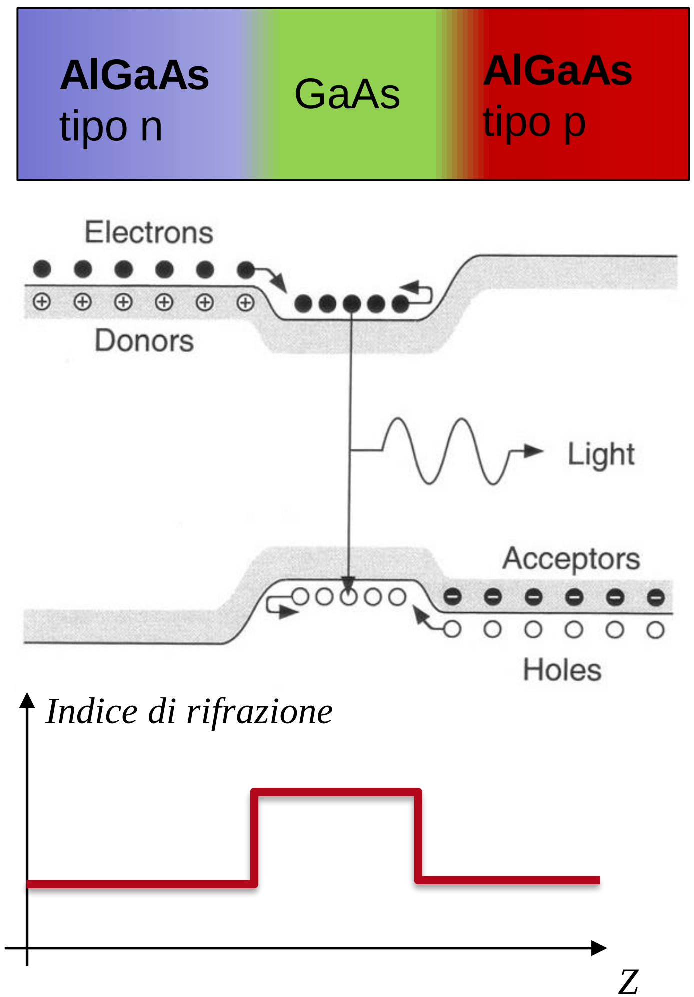
La corrente permette di avere "molti" elettroni in banda di conduzione e "molti" posti vuoti (o lacune) in banda di valenza. Questa condizione si chiama "Inversione di popolazione"

Dall’omogiunzione all’eterogiunzione

Omogiunzione



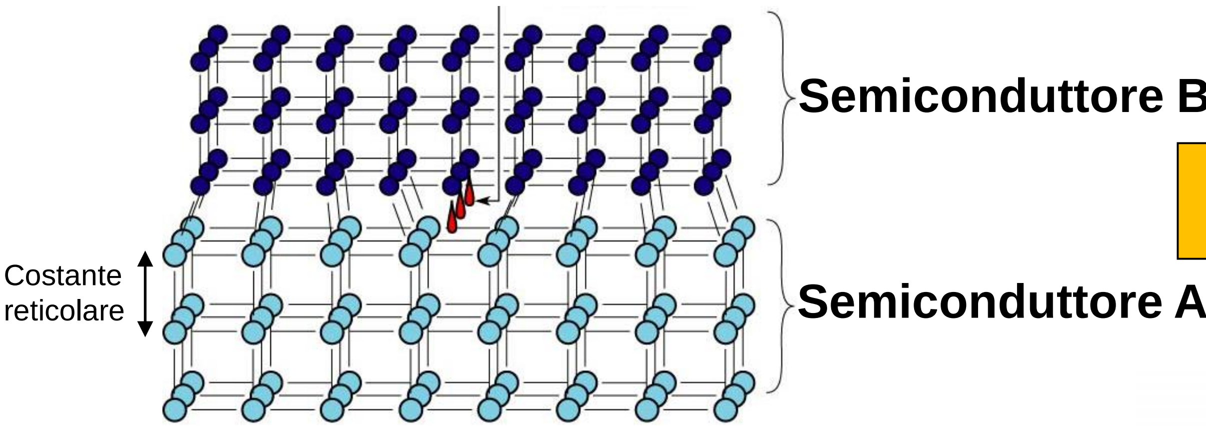
Eterogiunzione



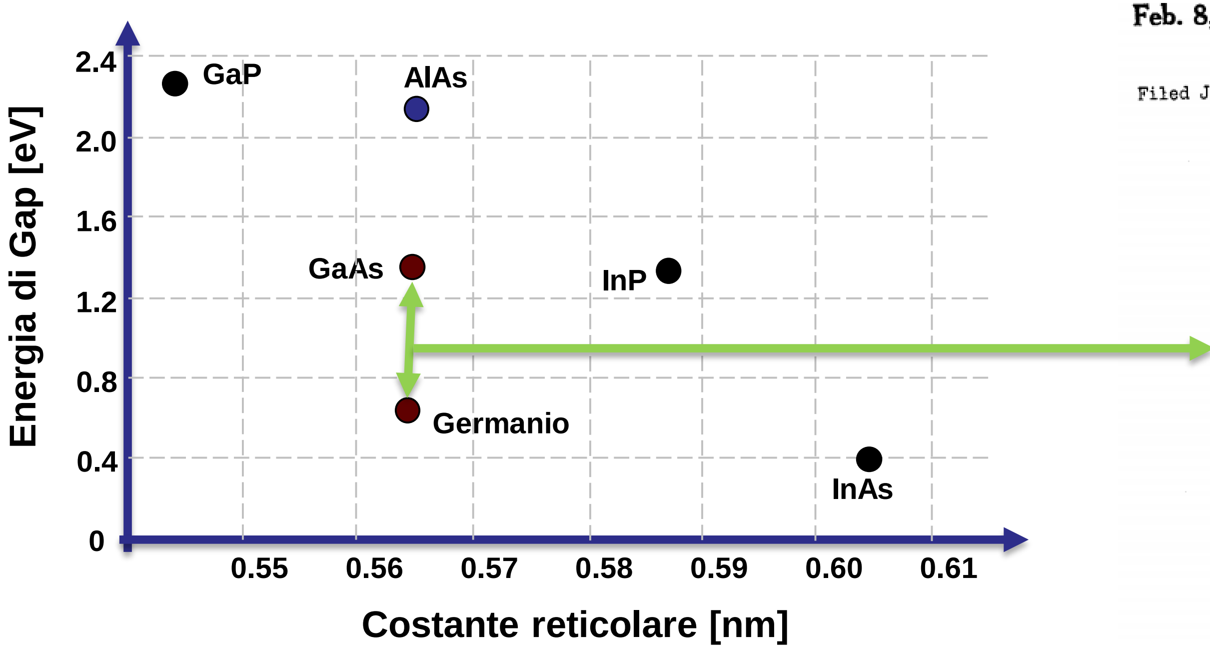
Come realizzare una eterogiunzione ?

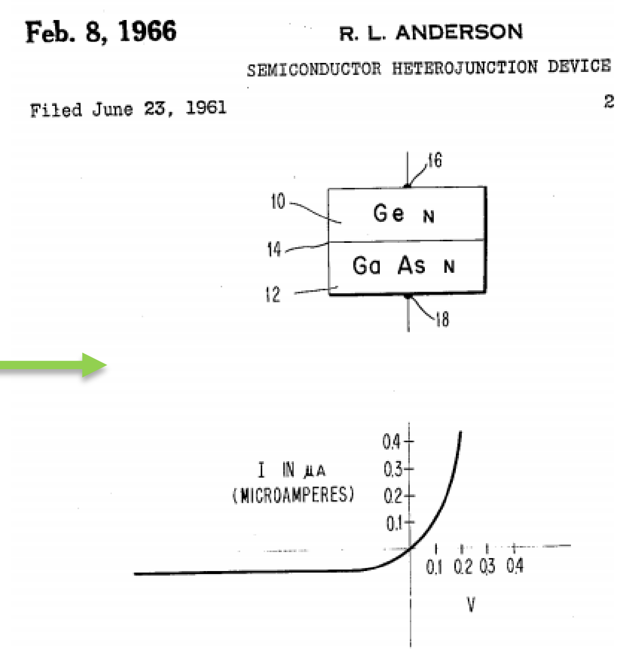
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Difetto reticolare -> Centro di ricombinazione



Per evitare ricombinazioni non radiative all'interfaccia è conveniente realizzare eterogiunzioni con semiconduttori che hanno costanti reticolari molto simili




Feb. 8, 1966 R. L. ANDERSON

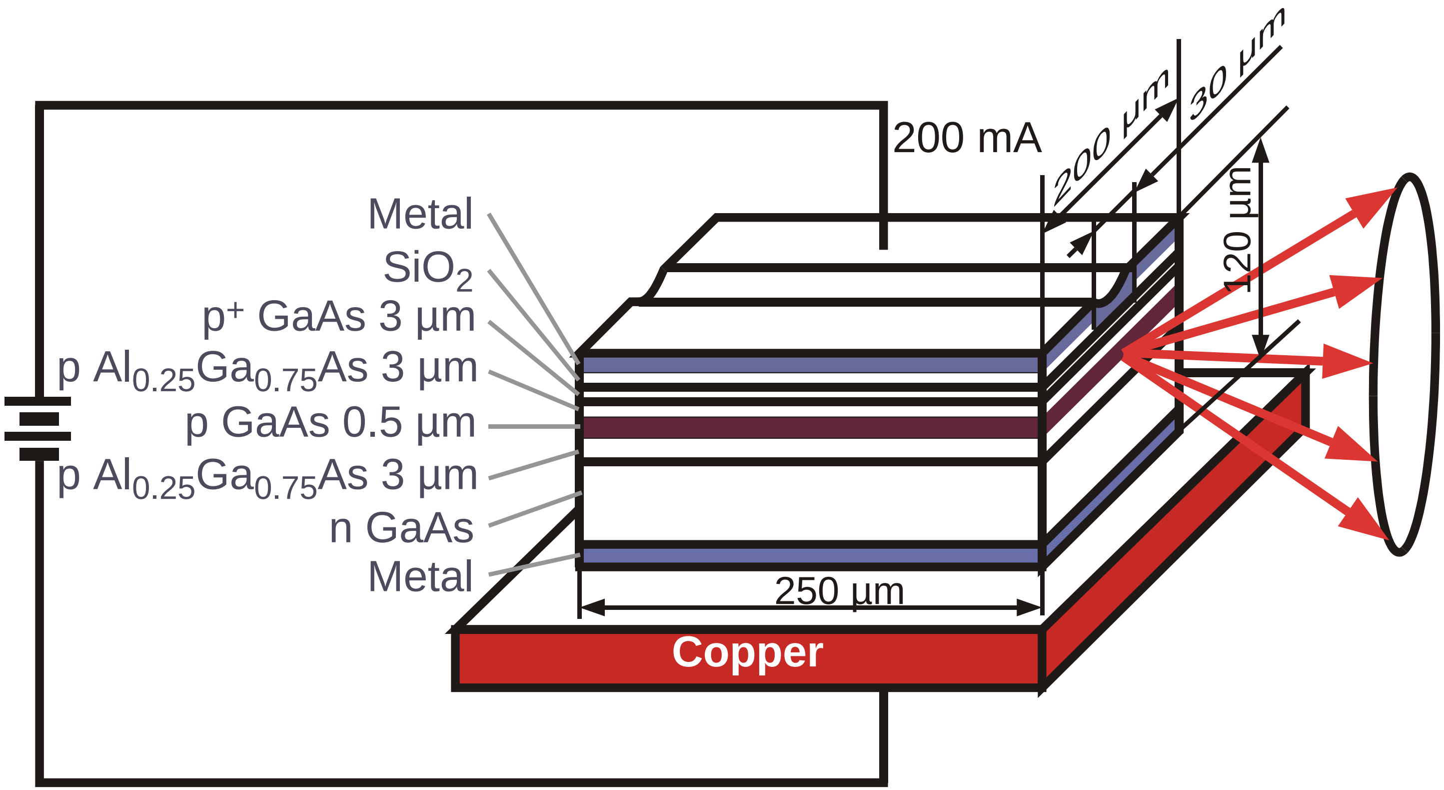
SEMICONDUCTOR HETEROJUNCTION DEVICE

Filed June 23, 1961 2

1970: nasce il primo Laser “moderno”

Investigation of the influence of the AlAs-GaAs heterostructure parameters on the laser threshold current and realization of continnous emission at room temperature.

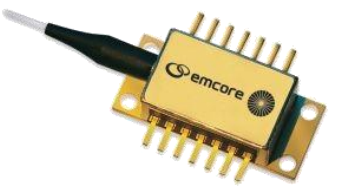
Zh.I. Alferov, V.M. Andreev, D.Z. Garbuzov, Yu.V. Zhilyaev, E.P. Morozov, E.L. Portnoi, V.G. Trofim,
Sov. Phys. Semicond. (USA). Translated of: Fiz. Tekh. Poluprov. (USSR), vol. 4, no. 9, p. 1826-9 (Sept. 1970) (Received May 6, 1970)

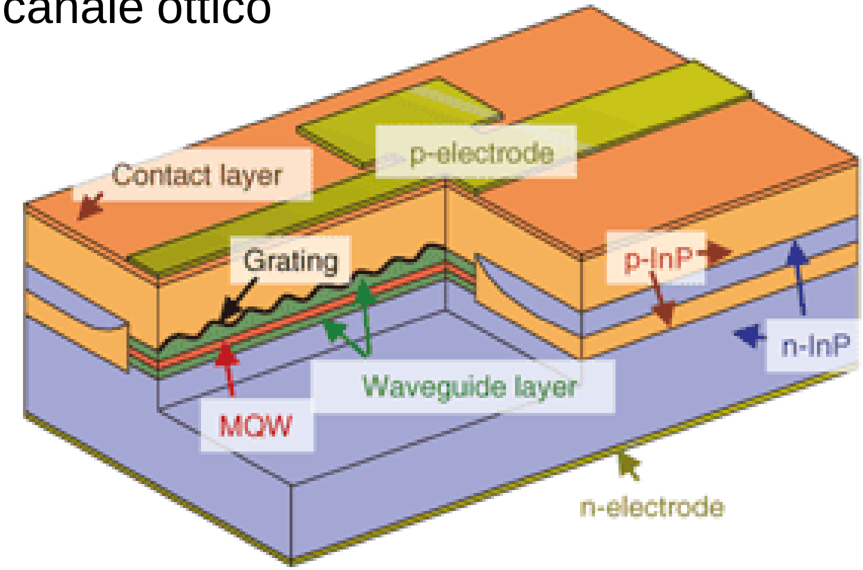


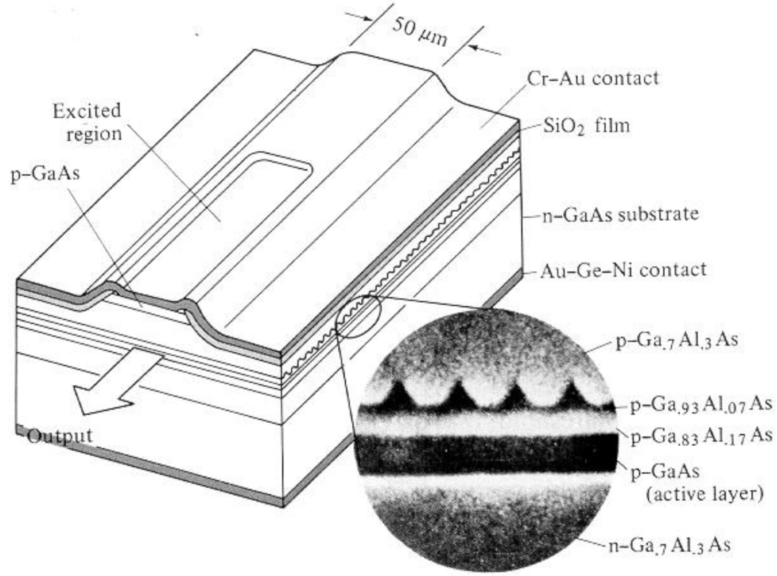
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

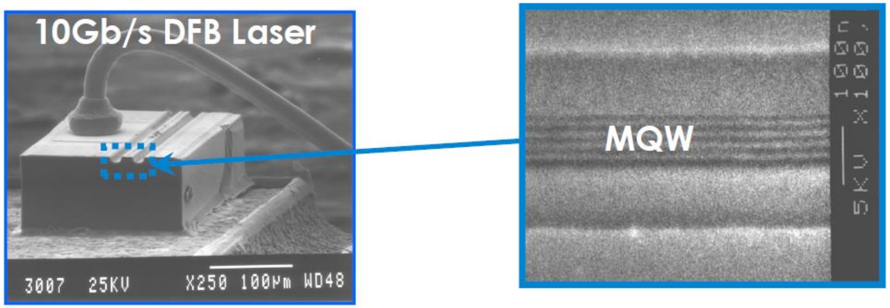
Laser con riflettore di Bragg Distributed Feedback Laser (DFB)

Il Laser DFB (Distributed Feedback Laser) ha una altissima purezza spettrale, emettendo ad una singola lunghezza d'onda anche quando è modulato per trasmettere informazioni ad altissimo bit-rate in un canale ottico

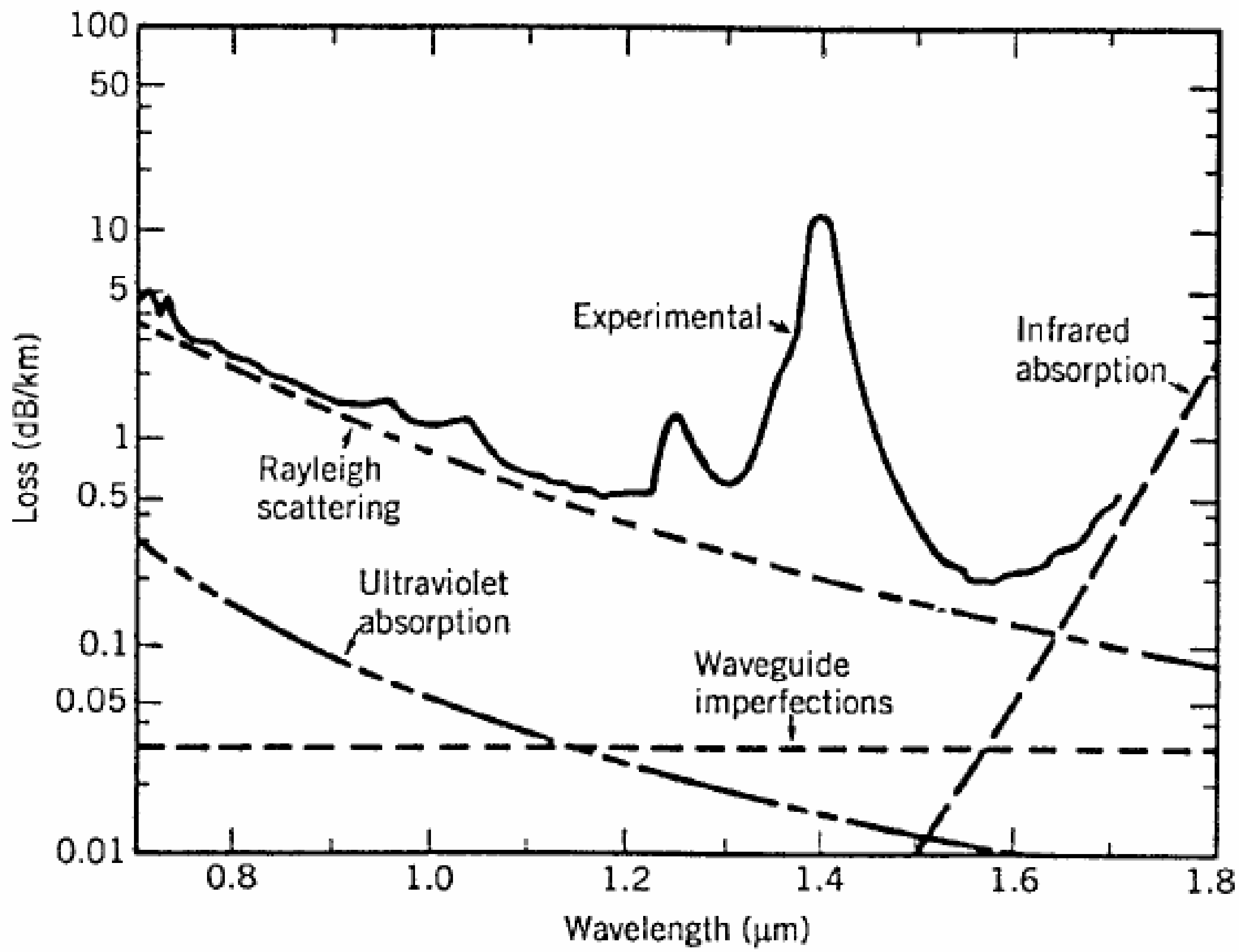




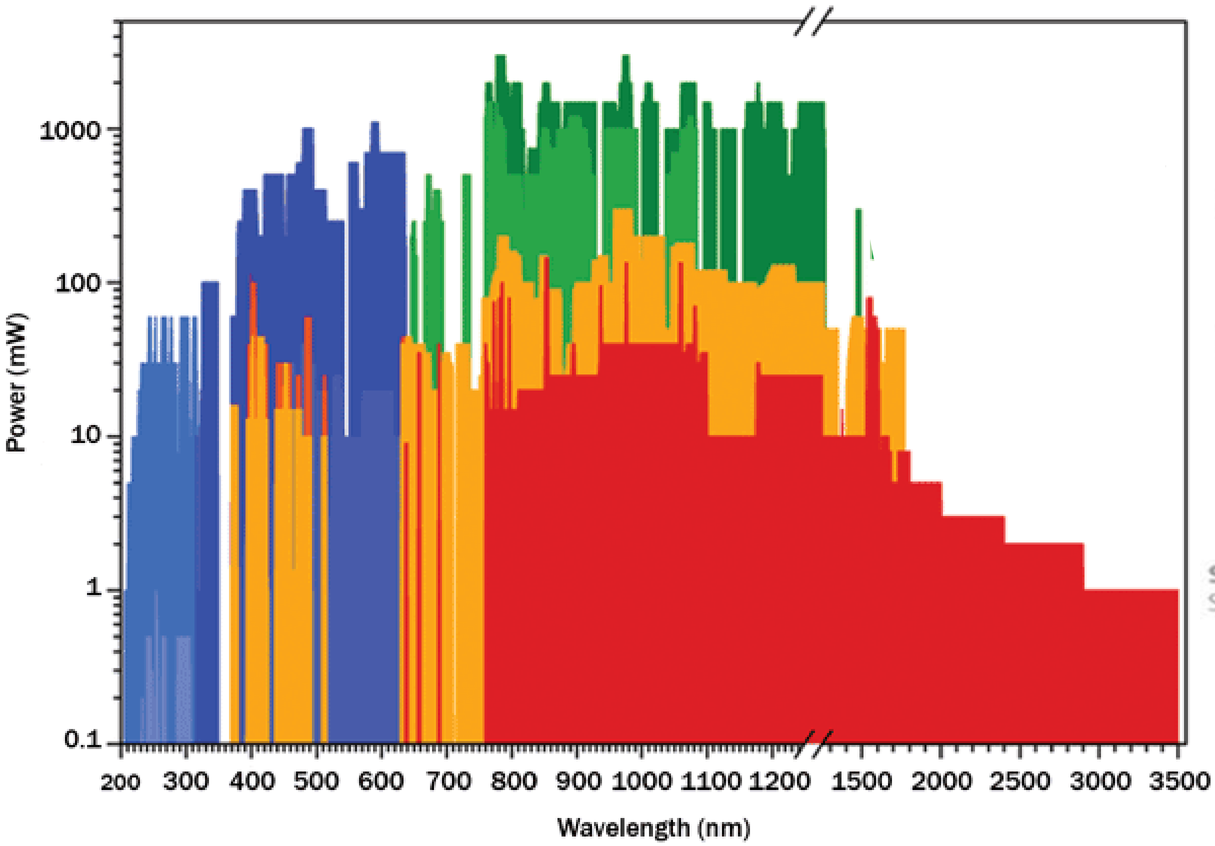


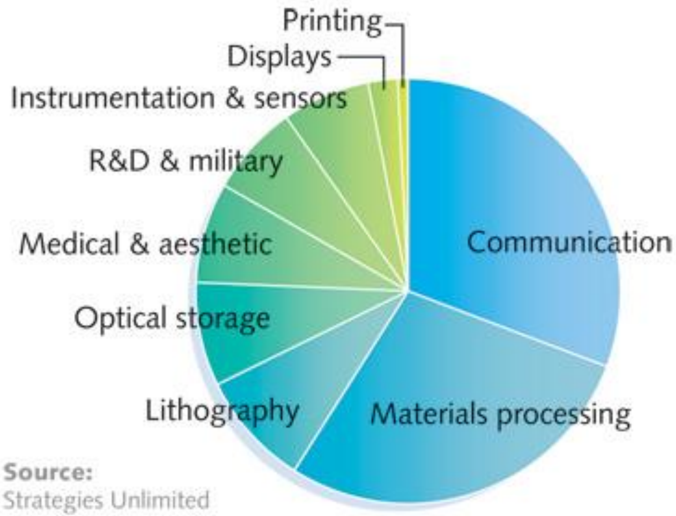


Comunicazioni su fibra ottica



Stato attuale dello sviluppo dei Diodi Laser

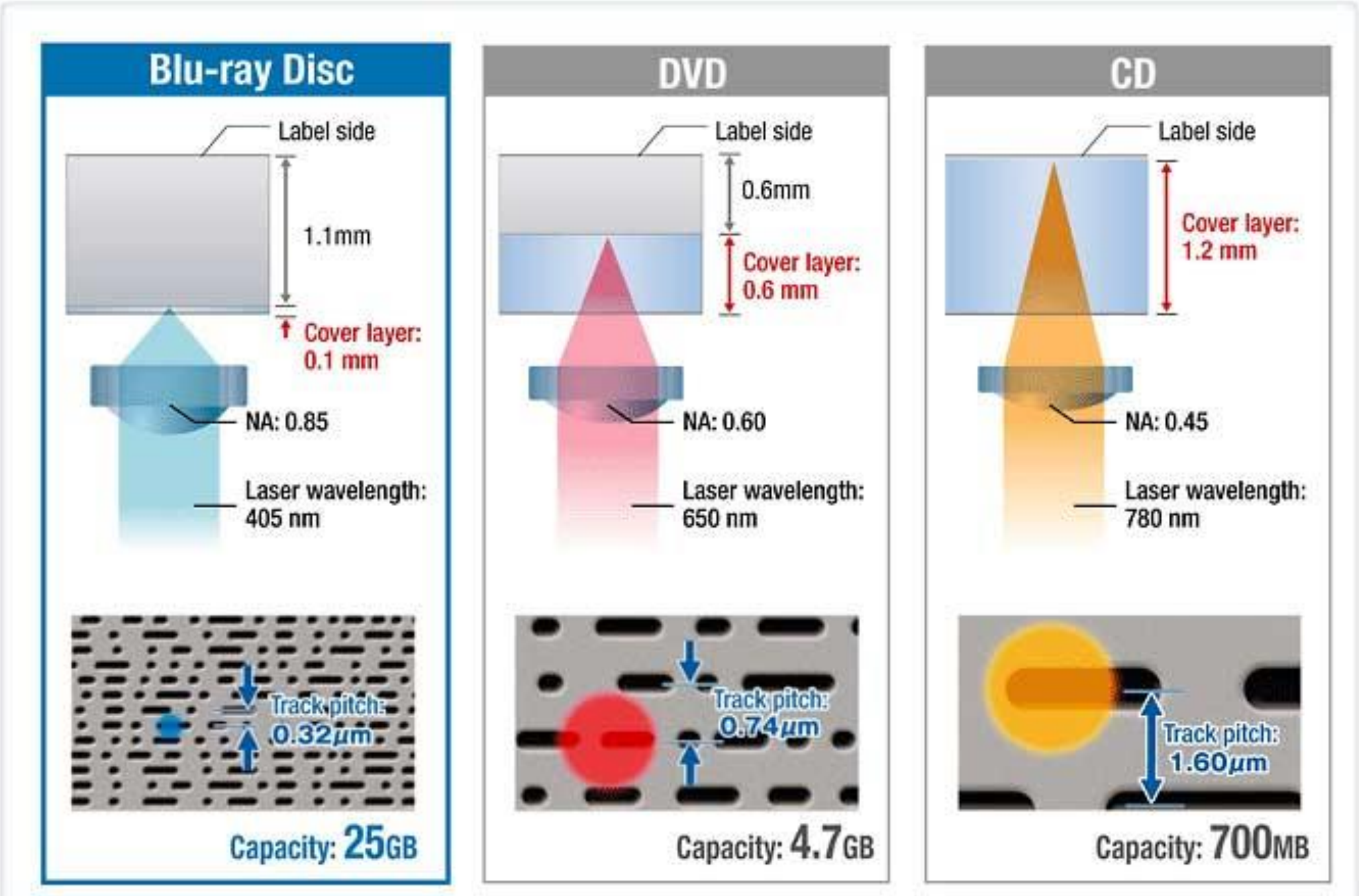




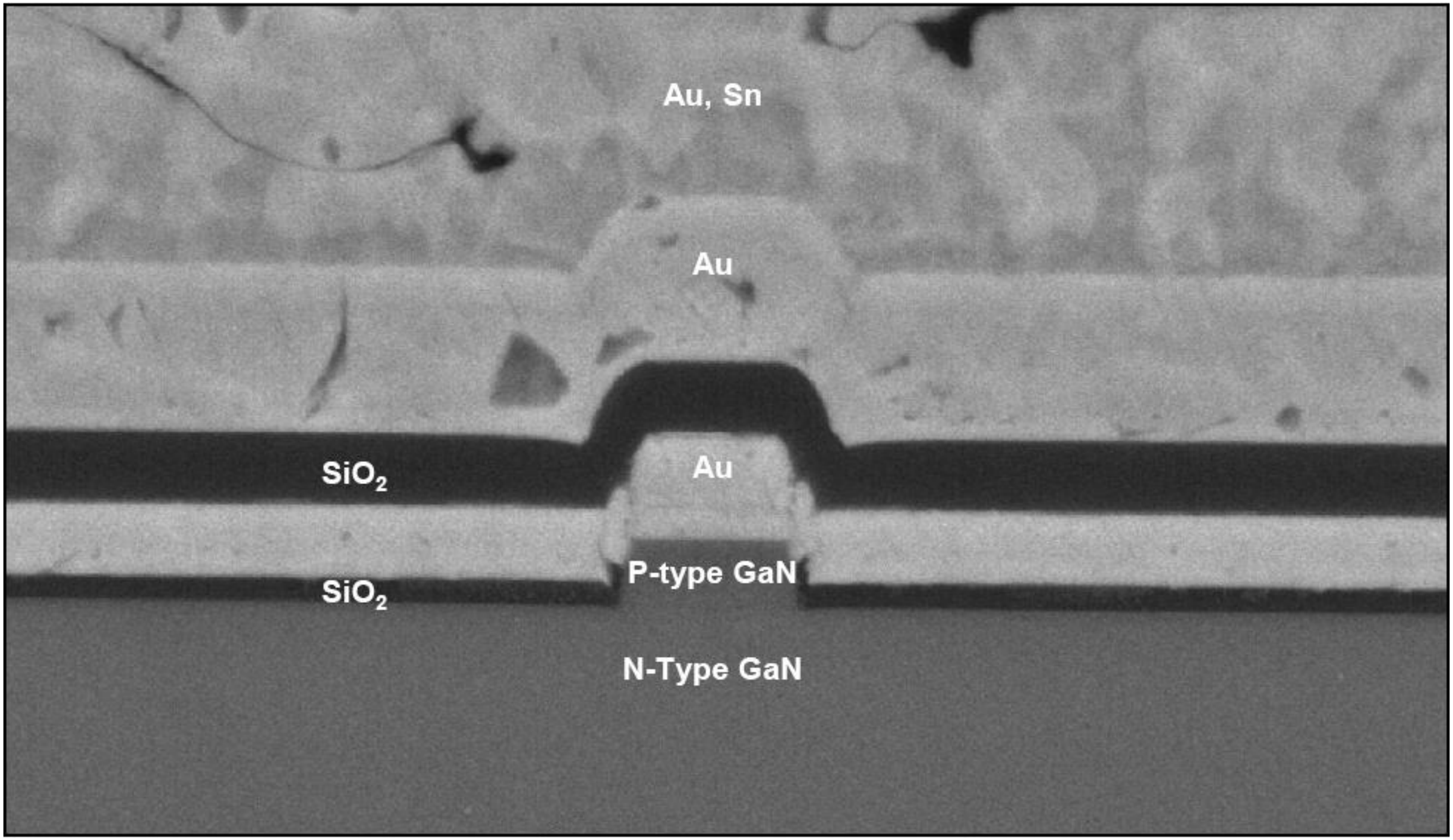
I diode Laser sono disponibili a diverse potenze e nel range di lunghezze d'onda che vanno da 200 nm (ultravioletto) a 3500 nm (infrarosso)

Università degli Studi di Padova

Optical data storage

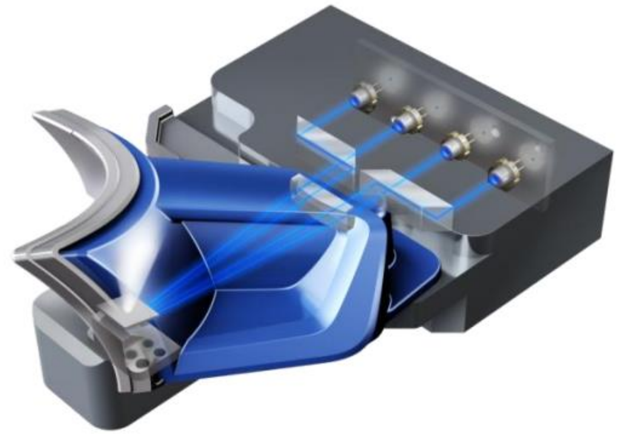


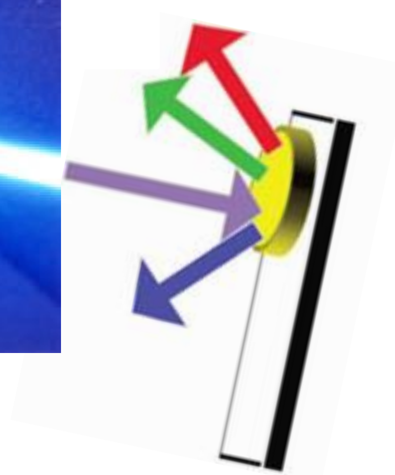
Diodo laser InGaN/GaN per BluRay reader Sony PS3



Come realizzare sorgenti ad altissima intensità?

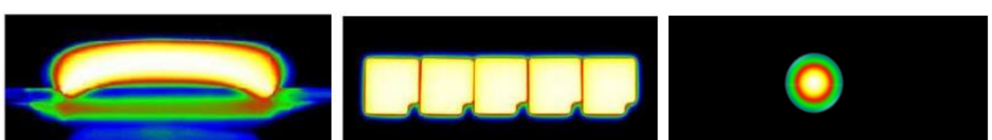
Laser blu ad alta efficienza





Target fosforescente (eccitato da luce violetta emette luce bianca)

Intensità luminosa di diverse sorgenti



Fonte: AUDI

Università degli Studi di Padova

Abbaglianti laser: massima visibilità