

**CONFERENZA DI ATENEO  
PER LA RICERCA E IL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO**

**PRIMA GIORNATA TEMATICA**

**RICERCA E TRASFERIMENTO TECNOLOGICO  
SULLE TEMATICHE ENERGETICO AMBIENTALI**

**Università degli Studi di Firenze**

**Firenze, 13 Dicembre 2007**



Anna Vinattieri  
Dip. Fisica-LENS

## Nanostrutture innovative per emettitori nell' IR-VIS-UV

- Fisica delle microcavita' ( M.Gurioli):** Nuovi tipi di laser
- Fisica delle nanostrutture a nitruri (A.Vinattieri):** LED e Laser
- Fisica degli emettitori a singolo fotone (F. Intonti):** Nanosorgenti per trattamento quantistico dell'informazione



# Fisica delle nanostrutture a nitruri

**PERIODO DI RIFERIMENTO: 2003-2007**

**Soggetti coinvolti: UNIFI, UNIPD, CHREA-CNRS, EPFL**

**Gruppo di lavoro UNIFI: Dip. Fisica, LENS, Dip. Energetica**

**Finanziamento della ricerca:**

*PRIN 2005 ( Partner industriale Osram OptoSem)*

*RTN EU “ Physics of Microcavities” (2003-2007)*

*Richiesta PRIN 2007 ( Partner industriali Osram, Panasonic)*



# I nitruri: i materiali vincenti per l'illuminazione a stato solido?

## Sommario

1. Le potenzialità dell'illuminazione a stato solido
2. La ricerca di base nell'Ateneo
3. Problemi aperti
4. Conclusioni



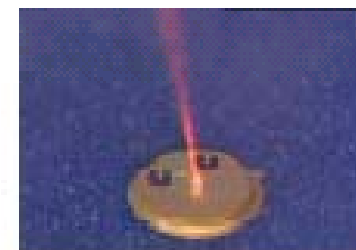
# La storia dell'illuminazione

Il passato

Il presente ed il futuro



*Bulbs and Tubes*



*Semiconductors*



La svolta : 1990 HP e Toshiba ( AlInGaP giallo-rosso) , Nichia ( Nakamura LED blu-verdi-bianchi e diodi laser blu)  
Shuji Nakamura: Millenium Technology Prize 2006

## Due differenti esigenze

✓ *Sorgenti quasi-monocromatiche* ( applicazioni luci semaforiche, litografia ottica, agricoltura, settore biomedicale, etc.)

✓ *Sorgenti di luce bianca* ( mercato automobilistico, illuminazione per usi civili, retroilluminatori per displays, etc.)



# Sorgenti tradizionali

✓ Illuminazione domestica –

Lampade ad  
incandescenza o lampade  
a fluorescenza con resa più  
elevata

✓ *Buona resa del colore*

✓ Ambienti lavorativi –

Lampade a fluorescenza

✓ *Sorgenti non monocromatiche :*  
richiedono filtraggio spettrale per  
applicazioni specifiche

✓ Illuminazione stradale –

Lampade a sodio

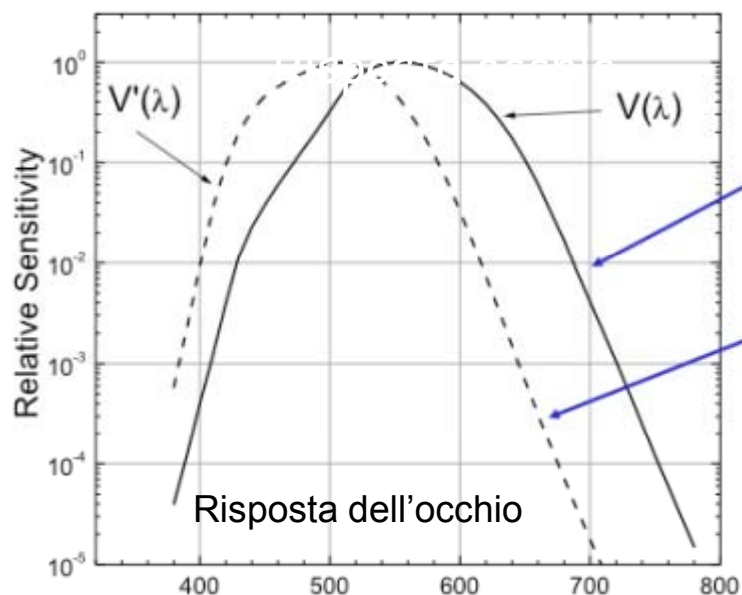
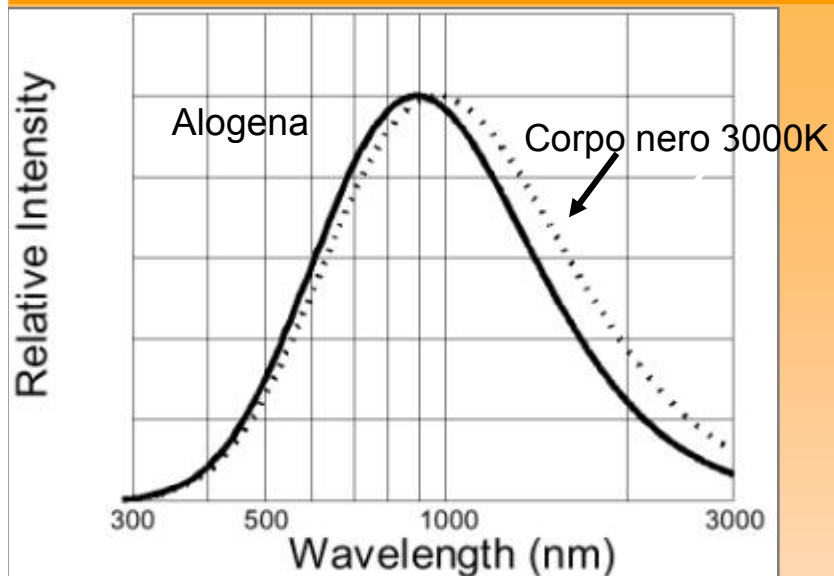


## Alogene

Riproduzione dello spettro solare per temperature del filamento superiori a 5000 K

Attualmente è la soluzione più utilizzata per illuminazione domestica

Significativa componente IR



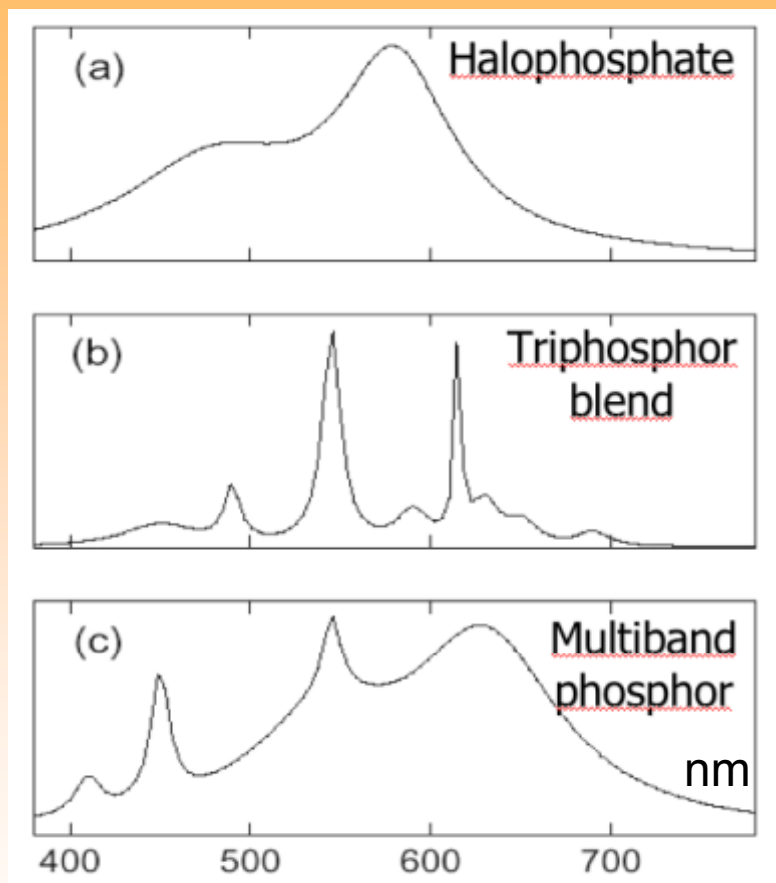
Alta intensita'

Bassa intensita'





## Lampade a fluorescenza



Distribuzione spettrale  
differente da quella solare

Efficienza aumentata rispetto  
all'incandescenza

Accensione lenta

Mercurio o Sodio (giallo)

## Le potenzialità dell'illuminazione a stato solido

- Consistenti risparmi energetici: da dati USA costo settore energetico \$60 miliardi /anno di cui circa il 21% per illuminazione. Le proiezioni di risparmio energetico nel caso di utilizzo dell'illuminazione a stato solido sarebbero pari a circa \$ 100 miliardi ( 2000-2020) ( risparmio  $\approx$  50% consumi) e riduzione di 110 milioni di tonnellate/anno di emissione di carbonio nell'atmosfera.
- Vita media attesa sorgenti 100000 h
- Alta efficienza rispetto a lampade tradizionali
- Alta resistenza meccanica a vibrazioni e shock
- Compattezza
- Monocromaticità e controllo dell' emissione
- Assenza mercurio
- No IR e UV per LED nel visibile

## Sviluppo del mercato per i dispositivi a GaN

**2003-** 184 compagnie coinvolte in produzione e sviluppo. 293 università coinvolte in R/D ( incremento rispetto al 2000 **74 %** per industrie e **24%** per università)

**Dal 1995 ad oggi** crescita annuale mercato LED a GaN  $\approx$  **46%**

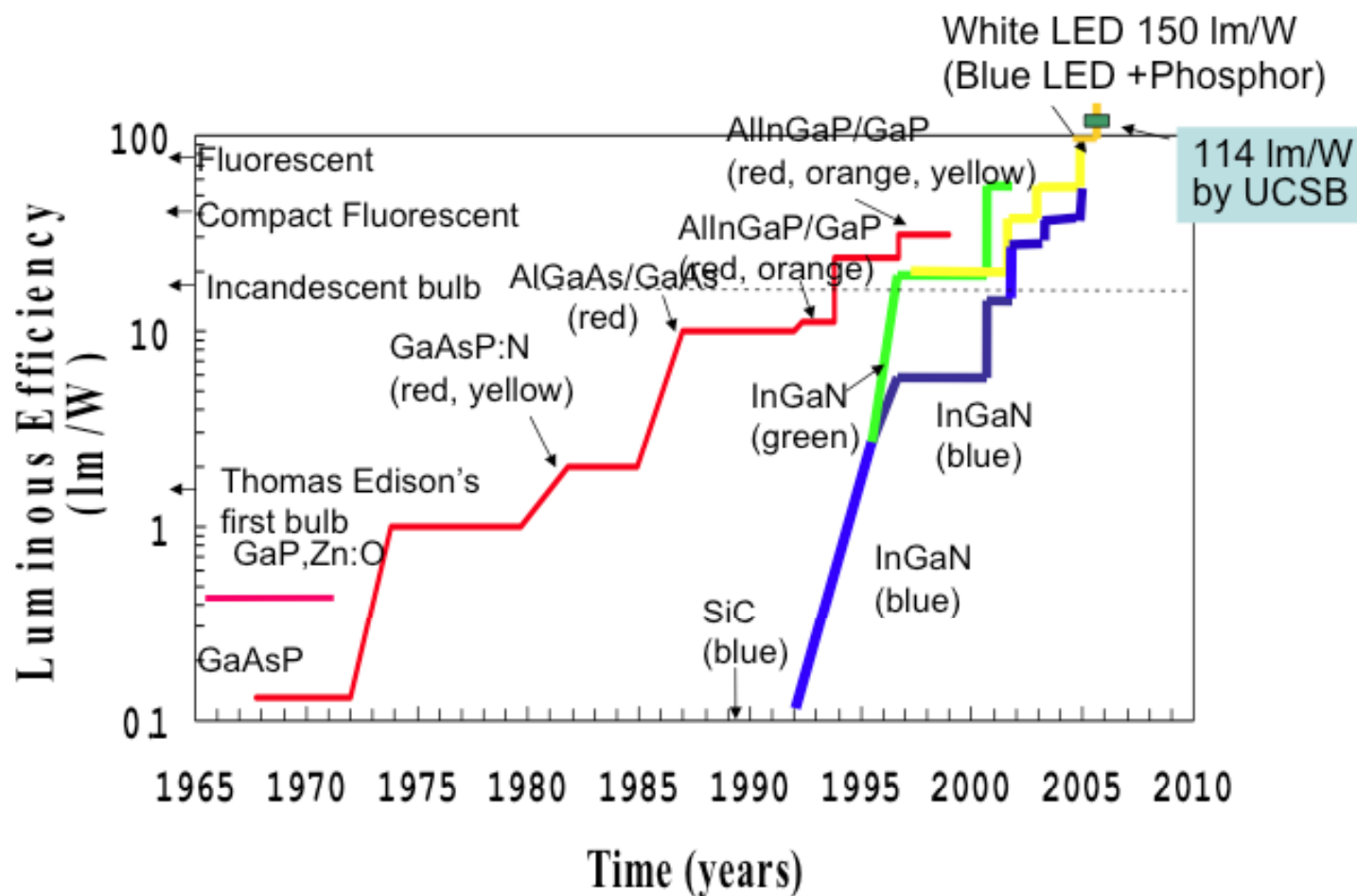
**Previsioni 2009: \$ 6.8 Miliardi**

Dati USA ( Strategies Unlimited)

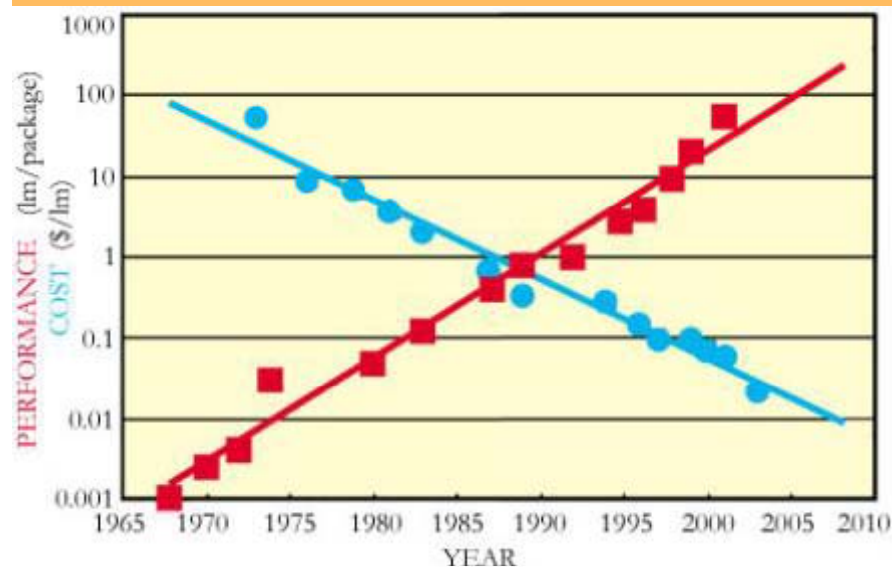
**Dati Cina: \$ 4 Miliardi (2010)**  
**con crescita annuale >35%**  
**( 2002-2006)**



# Efficienza



## Costi e Prestazioni



U.S. Department of Energy  
**Energy Efficiency and Renewable Energy**

### Lumen:

The SI unit of luminous flux. The total amount of light emitted by a light source, without regard to directionality, is given in lumens.

### Luminous efficacy:

The total luminous flux emitted by the light source divided by the lamp wattage; expressed in lumens per watt (lm/W).

Light Source	Typical System Efficacy Range in lm/W
	(varies depending on wattage and lamp type)
Incandescent	10-18
Halogen incandescent	15-20
Compact fluorescent (CFL)	35-60
Linear fluorescent (T8, T5)	50-100
Metal halide	50-90
White LED 5000K	45-59*
Warm white LED 3300K	22-37*

\*Current as of October 2006.

**Crescita esponenziale nelle prestazioni e decrescita esponenziale nei costi!**




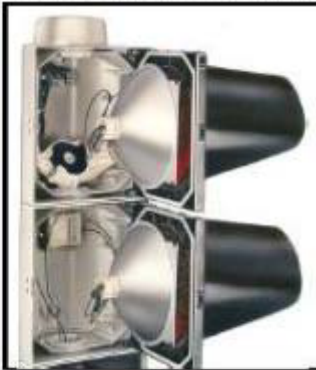






## Nel prossimo futuro

### High Investment Economic Model

	Year	2005	2010	2015	2020	2025
LED Penetration	%	0.05	2	12	30	55
Energy Savings per year	TWh/yr	2	67	330	720	1100
Energy Cost Savings per year	\$B/yr	0.2	7	33	72	110
Energy Generating Capacity Savings	GW	0.2	8	38	82	125



## Applicazioni con luce monocromatica

HV signal head	LV signal head	LV signal head	LED signalhead
	(Super pressure lamp)	(Halogen lamp)	
			
Lamp power: 135 W	50 W	50 W	15 W (signal monitor)
Life cycle: 6 Months	8 Months	12 Month	120 Month
Energy saving: 0 %	63 %	63 %	89 %
Maintenance rate: 100 %	75 %	50 %	5 %
			



## Applicazioni su larga scala



**Cellphone**  
(Nokia)



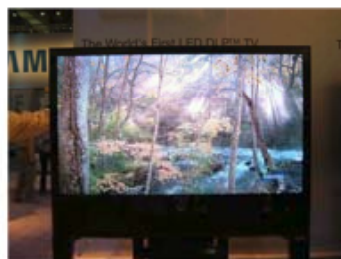
**Traffic signals**  
(Gelcore)



**Large Displays**  
(NASDAQ)



**streetlights**



**TVs (LED DLP™)**  
(samsung)



**Automotive**



## **La competitività delle sorgenti luminose a stato solido dipende dal raggiungimento di alcuni traguardi:**

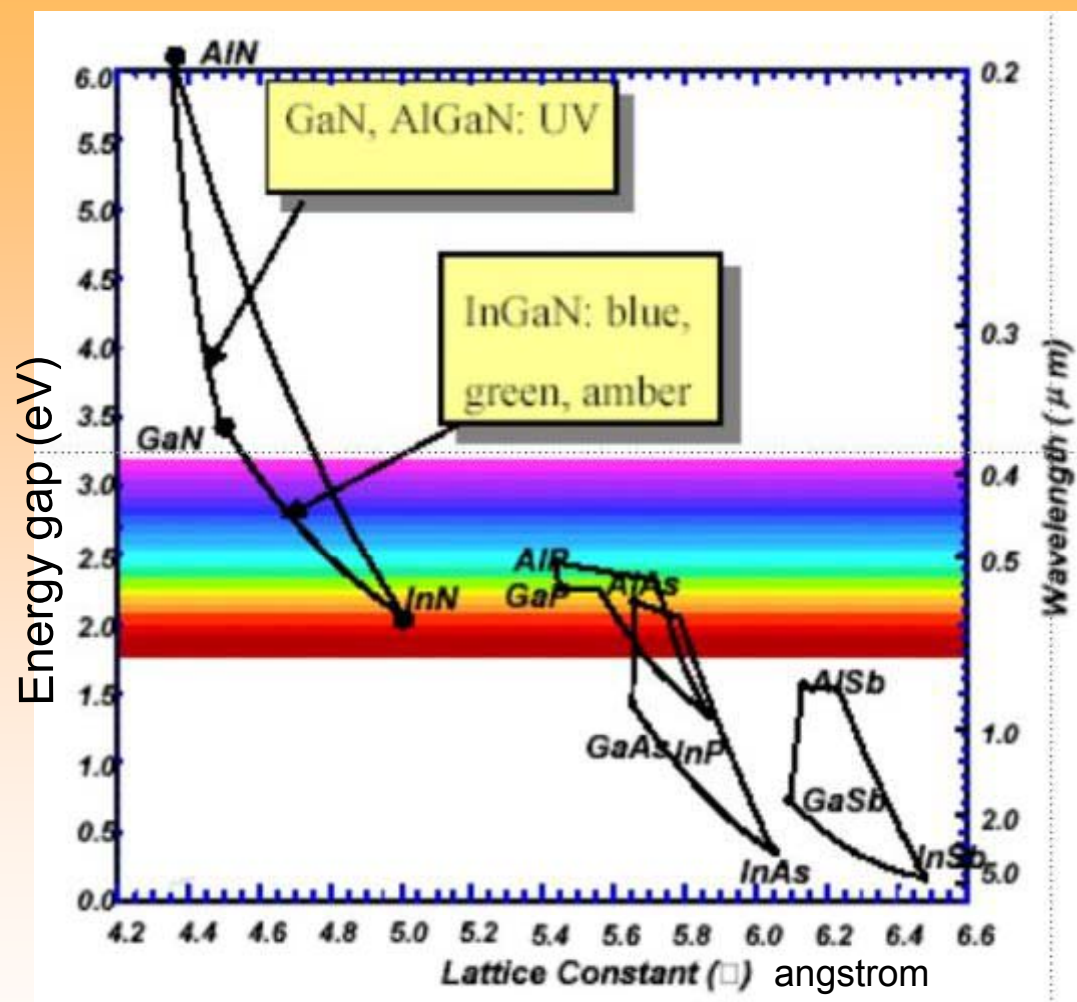
- Aumento dell'efficienza della generazione di luce ( fortemente dipendente dalla qualità del materiale)**
- Aumento dell'efficienza dell'estrazione di luce ( attualmente < 40%)**
- Aumento della qualità della luce (CRI)**
- Riduzione dei costi ( attualmente 2-3 E per package, confrontabile con CFL)**

Poiche' per poter illuminare occorrono sorgenti luminose che emettano oltre i 1000 lumens (KI) occorrono dispositivi di potenza ed aumento del package ( da 100 verso 1KI per package)





## Il materiale: I nitruri



Controllo colore su ampio range ( NUV-NIR)

Elevata efficienza radiativa

Costi relativamente bassi di produzione

- ✓Piezoelettricità
- ✓Elevato numero difetti strutturali
- ✓Scarso controllo drogaggio



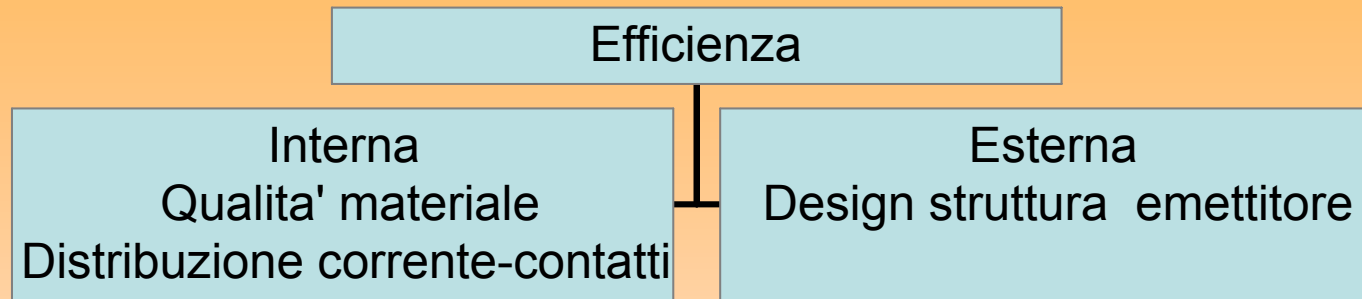
## Gli sviluppi tecnologici per i nitruri

Anno	Evento	Autore
1969	GaN da VPE	Maruska et al.
1971	GaN da MOCVD MIS LEDs	Pankove, Dingle et al.
1974	GaN da MBE	Akasaki et al.
1975	AlN da evaporazione reattiva	Yoshida et al.
1982	Sintesi (alta pressione)	Karpinski et al.
1983	AlN da MBE	Yoshida
1986	Film speculari di AlN	Amano et al.
1989	P-doping GaN p-n LED InGaN per epitassia	Amano, Akasaki, Nagamoto et al.
1991	GaN buffer layer per MOCVD	Nakamura
1992	AlGaN UV/Blu LED ad alta luminosita'	Nakamura, Akasaki, Amano et al.
1993	InGaN MQW	Nakamura
1994	InGaN/AlGaN LED blu-verdi	Nakamura
1995	InGaN LED blu-verdi-gialli	Nakamura
1996	UV laser a diodo Pulsed e CW laser a diodo blu	Akasaki, Nakamura et al.

Dal 1996- sviluppi tecnologici ( pendoepitaxy, non-polar material, design dell'emettitore, ottimizzazione contatti, doping, etc) per max potenza ed efficienza



## Alcuni problemi



Nostra attivita' ricerca

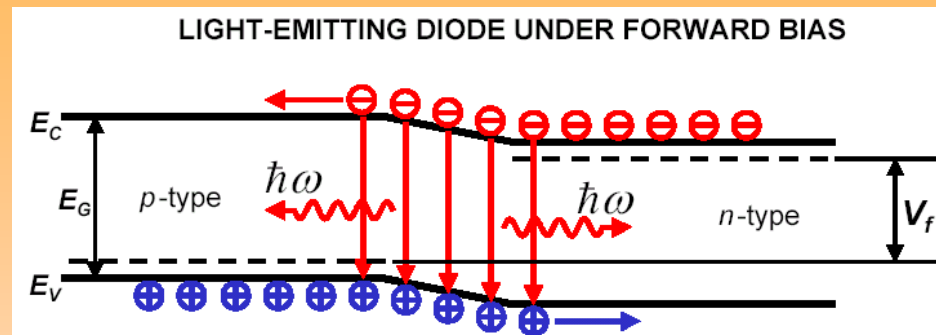
L'efficienza complessiva del dispositivo e' il prodotto di  $\eta_{int}$  e  $\eta_{ext}$ .

$\eta_{int}$  e' limitata dalla presenza di canali non radiativi.

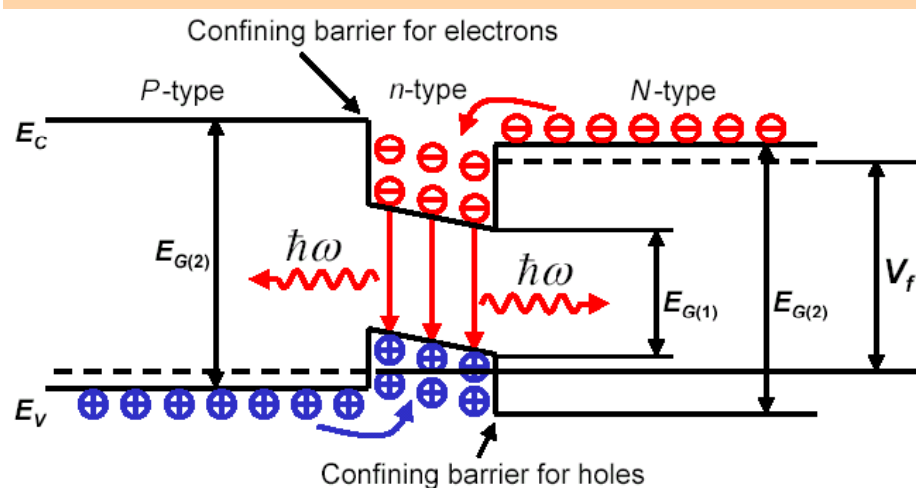
$\eta_{ext}$  e' limitata da riflessioni totali e riassorbimento.



## IL LED “old style”

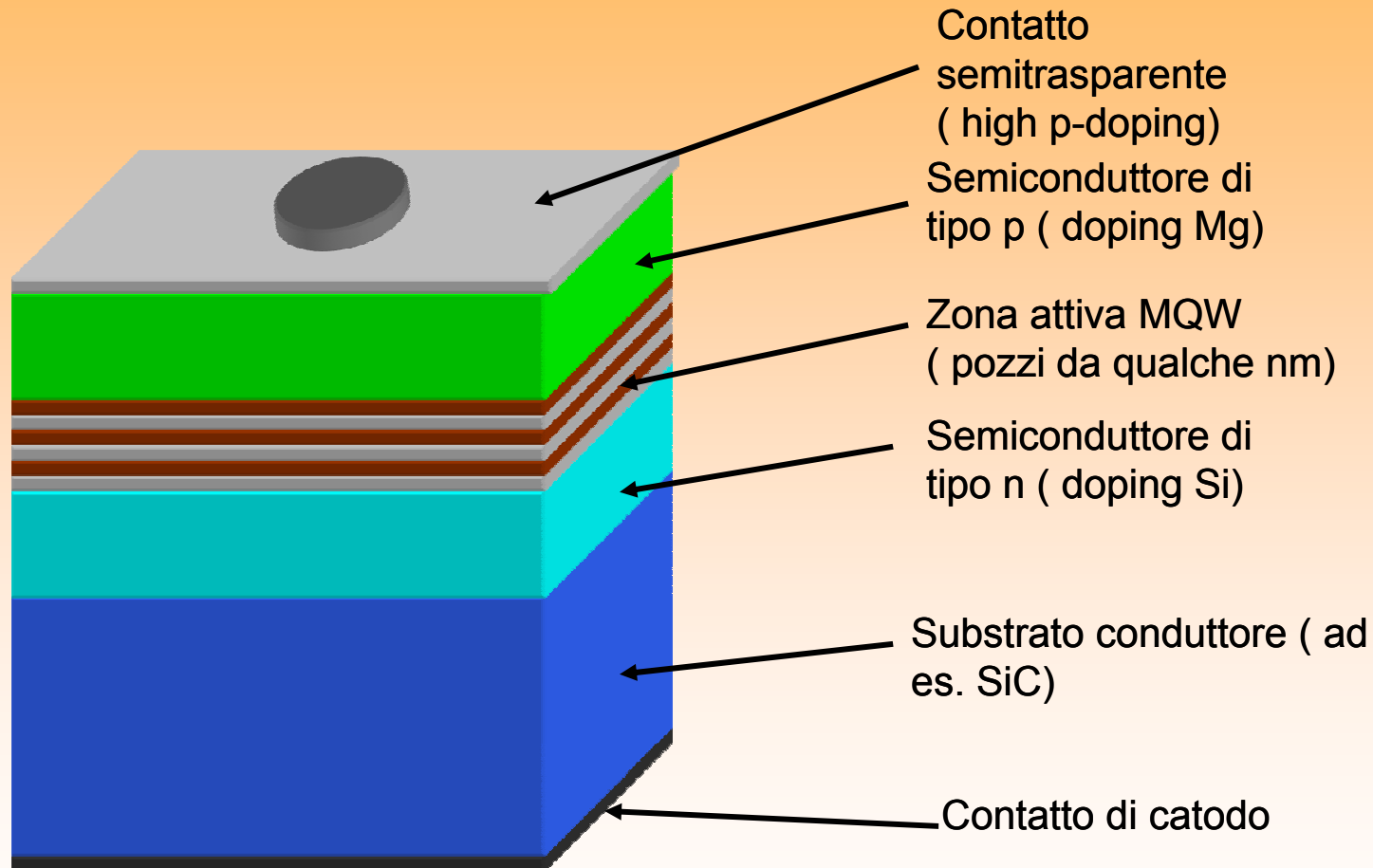


## Il LED “new style”

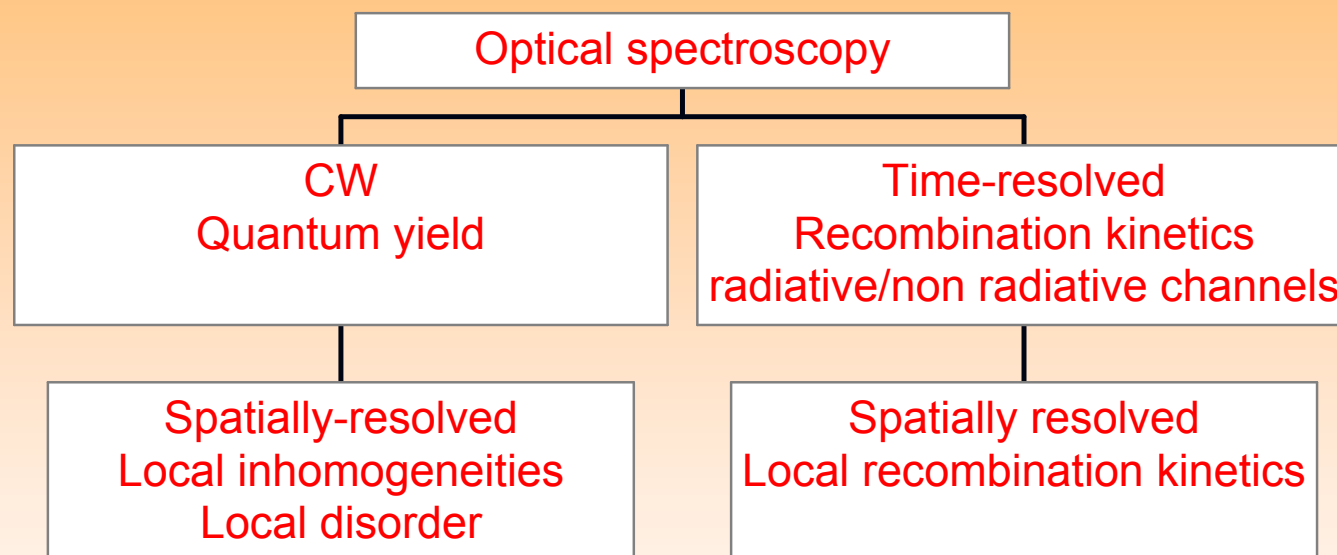


Il confinamento dei portatori migliora drasticamente l'efficienza interna  
Realizzando anche il confinamento della luce si riduce il riassorbimento

**Per ottenere il confinamento la struttura e' cresciuta con tecniche epitassiali**

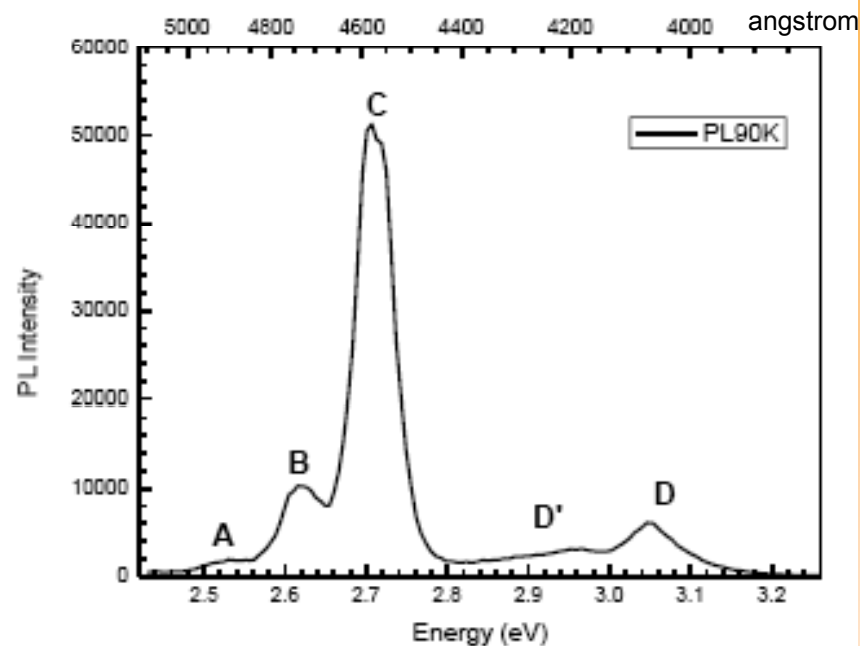


## Le nostre competenze



Parameters: T (2-300K), exc. density, bias etc.



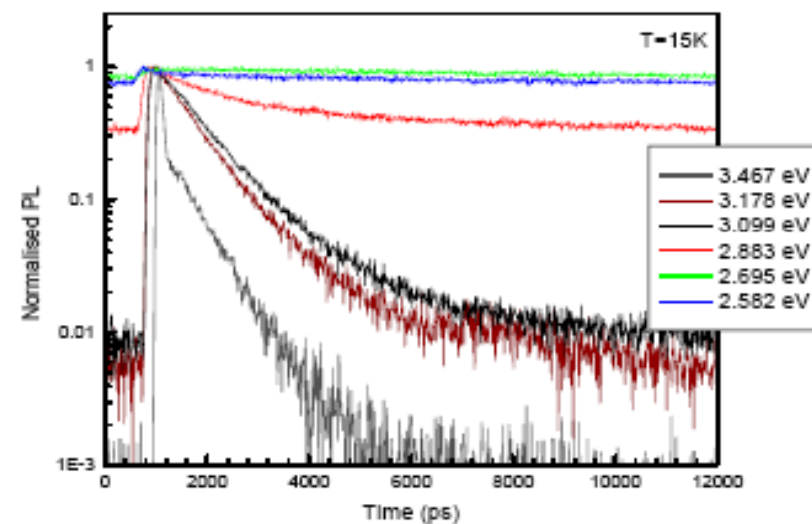


Ad esempio

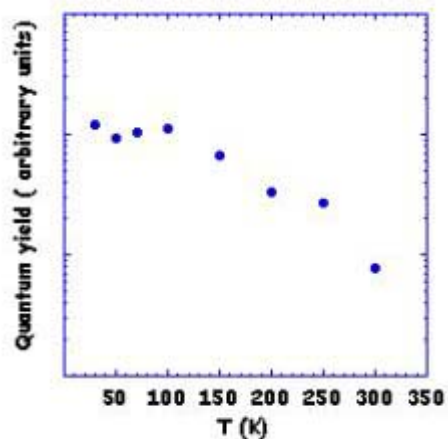
Cinetica di ricombinazione

Misura dello spettro di emissione

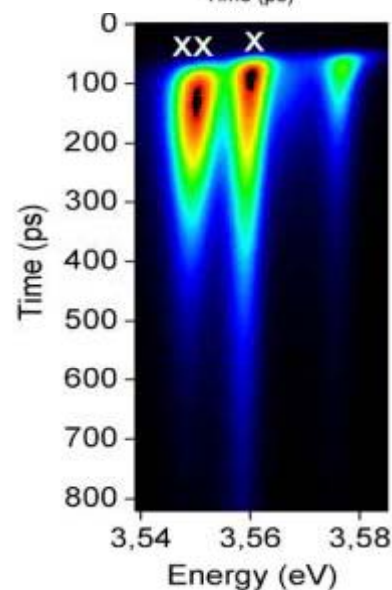
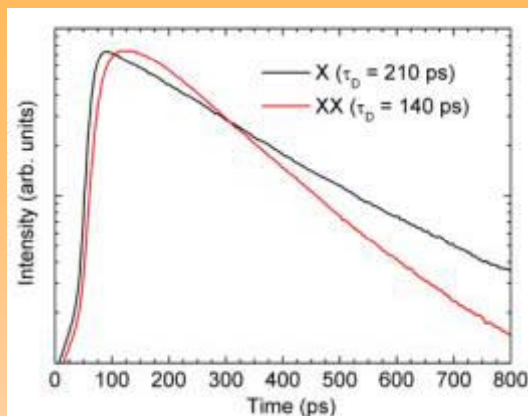
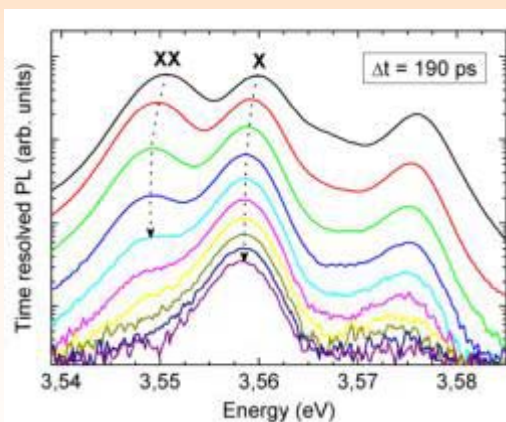
*Obiettivi: determinazione  
presenza canali non radiativi e  
dipendenza dell'efficienza da  
trattamenti post-crescita e ageing*





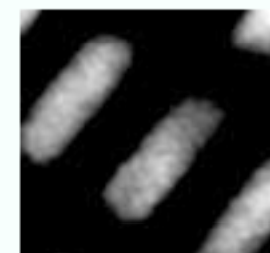
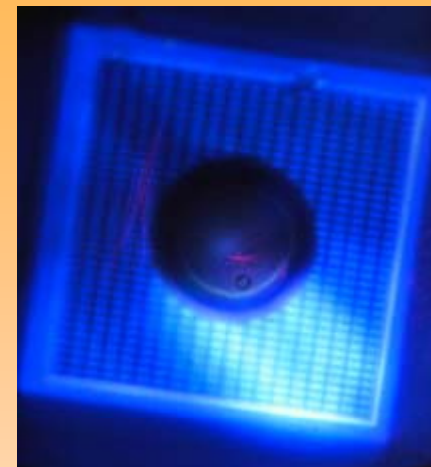


Misura efficienza interna



Individuazione componenti spettrali diverse e loro cinetica

Prototipo da Osram OptoSem



20 micron

Imaging e spettroscopia con risoluzione spaziale submicrometrica



## OBIETTIVI

1. **Caratterizzazione avanzata di nanostrutture base per emettitori VIS-UV come feedback per crescitatori**
2. **Studio della cinetica di ricombinazione**
3. **Individuazione origine canali non radiativi**
4. **Studio del ruolo del disordine su scala microscopica**
5. **Effetti non-lineari: emissione stimolata in strutture a microcavita'**



## Obiettivi conseguiti

- Comprensione del ruolo del campo elettrico interno sulla cinetica di ricombinazione nei nitruri di tipo wurzite. Dinamica in nitruri non polari ( strutture a pozzo quantico e punto quantico)
- Studio di strutture a microcavità di GaN come nanostrutture per laser innovativi

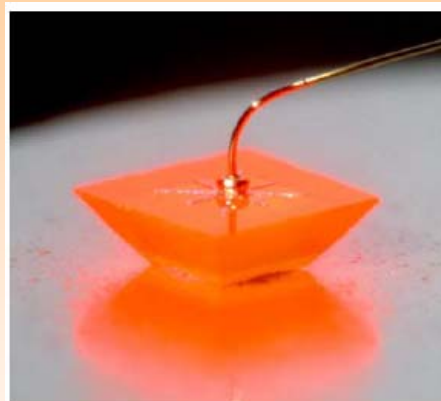


## Altri aspetti rilevanti dal punto di vista tecnologico non ancora ottimizzati

Miglioramento efficienza  
esterna: modifica geometria  
emettitore con substrato  
trasparente



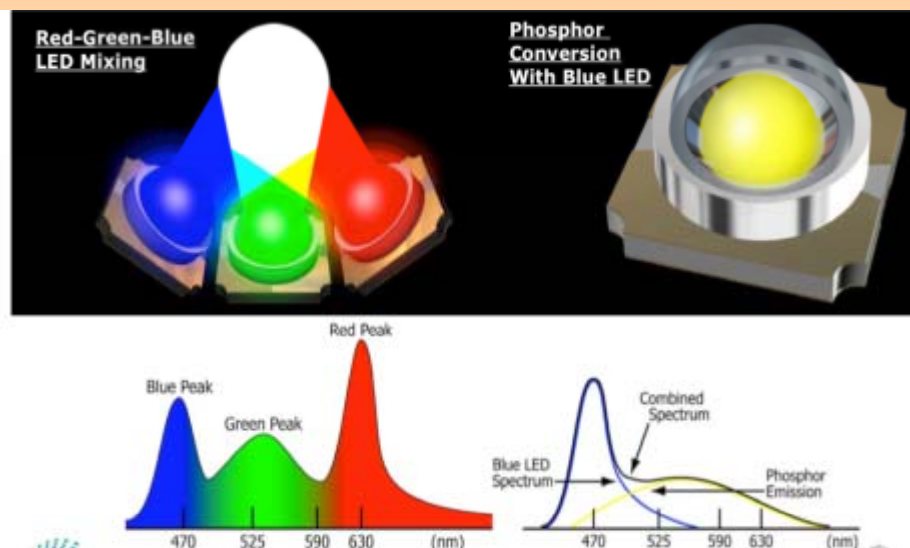
Absorbing Substrate  
1991



Truncated Inverted  
Pyramid (TIP) Chip  
2000

Generazione di luce bianca

RGB, UV LED+fosfori, BLU  
LED+fosfori ( 100I/W UCBS)



Da pochi I/W a  $>100$  I/W

## Conclusioni

- Esistono competenze locali per studi avanzati su materiale per la realizzazione di emettitori con elevato impatto tecnologico.
- Purtroppo, per quanto concerne la ricerca di base, l'interazione con settori industriali interessati allo sviluppo di sorgenti avviene in primo luogo con partner stranieri.

