Spettro di emissione di un LED



Spettro di emissione di un LED

Un LED emette per ricombinazione spontanea di elettroni e lacune e trasferimento dell'energia risultante ad un fotone



Spettro di emissione di un LED

La distribuzione di energia di elettroni e lacune è definita dalla statistica di Fermi; a T > 0 K i portatori occuperanno un certo numero di stati di energia superiore al minimo



Spettro di emissione di un LED Se le bande sono paraboliche, l'energia dei portatori vale:



m_e^{*} m_h^{*} sono le masse efficaci di elettroni e lacune



(a) A typical output spectrum (relative intensity vs wavelength) from a red GaAsP LED.(b) Typical output light power vs. forward current. (c) Typical I-V characteristics of a red LED. The turn-on voltage is around 1.5V.

© 1999 S.O. Kasap, Optoelectronics (Prentice Hall)

Larghezza spettrale dell'emissione dei LED

adeguata per le applicazione nel visibile: l'occhio umano la percepisce come monocromatica

non ottimale come sorgente per sistemi di comunicazione su fibra ottica a causa della dispersione delle fibre (velocità di propagazione diversa) che limita il prodotto "bit-rate x distanza"

tempo di vita per ricombinazione radiativa spontanea 1–100 ns limite di modulazione attorno a 1 Gbit/s Dipendenza dalla temperatura dello spettro di emissione dei LED

L'intensità di emissione diminuisce con T

- Ia ricombinazione Shockley-Read-Hall non radiativa dovuta a livelli profondi aumenta
- □ la ricombinazione superficiale, non radiativa, aumenta
- Ia frazione dei portatori che supera le barriere di potenziale all'eterogiunzione ed esce dalla zona attiva cresce

Int = Int (0 K)
$$exp(-T/T_1)$$

Relative spectral output power



The output spectrum from AlGaAs LED. Values normalized to peak emission at 25°C.

© 1999 S.O. Kasap, Optoelectronics (Prentice Hall)

Dispositivi Optoelettronici 2005-2006

Caratterizzazione termica di un LED



Fig. 6.2. (a) Peak emission wavelength versus oven temperature of an AlGaN UV LED for pulsed current injection with 0.1 % duty cycle. (b) Emission spectra and junction temperatures for different DC currents (after Xi *et al.*, 2005).

Il cono di fuga della luce in un LED

Il rapporto degli indici di rifrazione all'interfaccia semiconduttore -aria determina il massimo angolo di incidenza dei fotoni per il quale si ha riflessione completa ("angolo critico").





L'approssimazione è valida perchè l'indice di rifrazione dei semiconduttori è abbastanza elevato es. n(GaAs) = 3.4

L'angolo di riflessione interna totale definisce il "cono di fuga" dei fotoni





La potenza ottica che riesce a uscire, P_{escape} è

$$\begin{split} \mathsf{P}_{escape} &= \mathsf{P}_{source} \times (2\pi r^2 (1 - \cos \varphi_c)) / 4\pi r^2 \\ \mathsf{P}_{escape} / \mathsf{P}_{source} &= \frac{1}{2} (1 - \cos \varphi_c) \\ \text{sviluppando in serie } \mathsf{P}_{escape} / \mathsf{P}_{source} &= \frac{1}{4} \varphi_c^2 \\ \mathsf{P}_{escape} / \mathsf{P}_{source} &= \frac{1}{4} \frac{\overline{\mathsf{n}_{air}}^2}{\overline{\mathsf{n}_s}^2} \end{split}$$

Pattern di emissione

A causa della presenza della riflessione interna, il pattern di emissione non è isotropo

Per angoli di incidenza piccoli

$$\overline{n}_{s} \phi = \overline{n}_{air} \sin \Phi$$

 $d\Phi = \frac{\overline{n}_{s}}{\overline{n}_{air}} (1/\cos \Phi) d\phi$

Per la conservazione dell'energia, $I_s dA_s = I_{air} dA_{air}$

Per la conservazione dell'energia, $I_s dA_s = I_{air} dA_{air}$ (a) (b) Air $r d\Phi$ $r \sin \Phi$ dΦ \overline{n}_{air} Area element dA Air. Semicon- $\overline{n}_{\rm air}$ ductor $\overline{n}_{\rm S}$ **•** • • • Semiconductor - Light source $\overline{n}_{\mathrm{s}}$

Fig. 5.4. Geometrical model used to derive the Lambertian emission pattern. (a) The light emitted into angle $d\phi$ inside the semiconductor is emitted into the angle $d\Phi$ in air. (b)Illustration of the area element dA of the calotte-shaped section of the sphere.

$$dA_{air} = 2\pi r \sin \Phi r d \Phi$$
$$dA_{air} = 2\pi r \frac{\bar{n}_{air}^2}{\bar{n}_s^2} (1/\cos \Phi) \phi d\phi$$

Dispositivi Optoelettronici 2005-2006

nel semiconduttore si ha

$$dA_s = 2\pi r \sin \phi r d\phi = 2\pi r^2 \phi d\phi$$

$$|_{s} = (P_{source} / 4\pi r^{2})$$

quindi imponendo $I_s dA_s = I_{air} dA_{air}$ si ottiene

$$I_{air} = (P_{source} / 4\pi r^2) \frac{\overline{n}_{air}^2}{\overline{n}_s^2} (\cos\Phi)$$

"profilo di emissione lambertiano"



Fig. 5.5. Light-emitting diodes with (a) planar, (b) hemispherical, and (c) parabolic surfaces. (d) Far-field patterns of the different types of LEDs. At an angle of $\Phi = 60^{\circ}$, the lambertian emission pattern decreases to 50 % of its maximum value occurring at $\Phi = 0^{\circ}$. The three emission patterns are normalized to unity intensity at $\Phi = 0^{\circ}$.

 $\theta_{c} = \sin^{-1}(n_{r1}/n_{r2})$

n_{r1}=indice di rifrazione del semiconduttore



(a) Some light suffers total internal reflection and cannot escape. (b) Internal reflections can be reduced and hence more light can be collected by shaping the semiconductor into dome so that the angles of incidence at the semiconductor-air surface are smaller than the critical angle. (b) An economic method of allowing more light to escape from the LED is to encapsulate it in a transparent plastic dome.

© 1999 S.O. Kasap, Optoelectronics (Prentice Hall)

I raggi con angolo maggiore dell'angolo critico vengono riflessi. Per il sistema GaAs-aria l'angolo critico è di soli 16°



Figure 9.11. Diagrams of two LED lamps.⁸

Plastiche incapsulanti



Fig. 11.8. Chemical structures of polymers. Epoxy resins, silicone polymers, and poly methyl methacrylate (PMMA) are used as LED encapsulants. In the silicone structure, X and Y represent atoms or molecules such as H, CH₃ (methyl), C₆H₅ (phenyl).



Fig. 11.1. Typical packages; (a) LED with hemispherical encapsulant; (b) LEDs with cylindrical and rectangular encapsulant.



Fig. 11.2. Leadframe of a conventional 5 mm package for mounting and connecting LED chips. The stabilizing lead is cut off, once mechanical stability between the anode and cathode lead has been established by the epoxy encapsulant.



Fig. 11.7. Thermal resistance of LED packages: (a) 5mm (b) low-profile (c) low-profile with extended lead frame (d) heatsink slug (e) heatsink slug mounted on printed circuit board (PCB). Trade names for these packages are "Piranha" (b and c, Hewlett Packard Corp.), "Barracuda" (d and e, Lumileds Corp.), and "Dragon" (d and e, Osram Opto Semiconductors Corp.) (adopted from Arik *et al.*, 2002).



Fig. 9.6. Die-shaped devices: (a) Blue GaInN emitter on SiC substrate with trade name "Aton". (b) Schematic ray traces illustrating enhanced light extraction. (c) Micrograph of truncated inverted pyramid (TIP) AlGaInP/GaP LED. (d) Schematic diagram illustrating enhanced extraction (after Osram, 2001; Krames *et al.*, 1999).

Figure 9.9.

Basic structure of a flatdiode LED and the effects of (*a*) an opaque substrate (GaAs_{1-y}P_y) and (*b*) a transparent substrate (GaP) on photons emitted at the *p*-*n* junction.⁵







Figure 9.10. III-V nitride LED grown on sapphire substrate.



Fig. 8.8. (a) Current crowding in a mesa-structure GaN-based LED grown on an insulating substrate. (b) Equivalent circuit consisting of n-type and p-type layer resistances, p-type contact resistance, and ideal diodes representing the p-n junction.