

Quantum dot di semiconduttore: generazione di singoli fotoni

Matteo RINALDI



DIPARTIMENTO DI FISICA

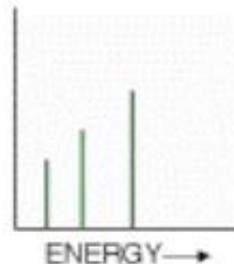
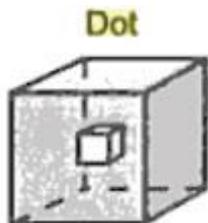
UNIVERSITÀ DI PISA

I **quantum dot** sono delle nanostrutture realizzate immergendo un semiconduttore con piccolo energy gap in un semiconduttore con energy gap maggiore .

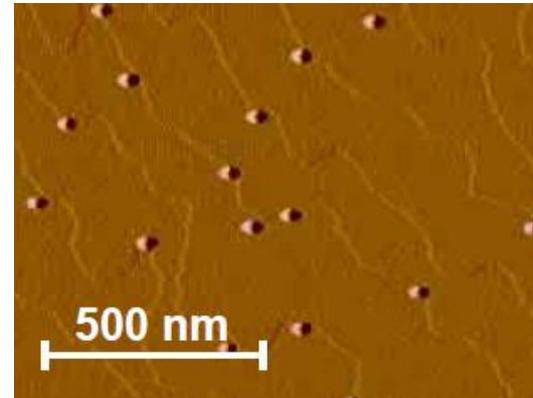
Ciò riduce l'estensione della funzione d'onda dei portatori carica ovvero gli elettroni oppure le quasiparticelle dette lacune elettroniche(holes) , a circa il valore della lunghezza d'onda di De Broglie:

$$\lambda_{e,h}^{dB} = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{3m_{e,h}^*k_B T}}$$

la densità di energia degli stati tende ad una distribuzione deltiforme, lo spettro energetico è discreto.



Un quantum dot può essere ad esempio realizzato dai semiconduttori a gap diretto
 InAs / GaAs, con energy gap
 rispettivamente di 0.42 eV e 1.52 eV.



L'interazione coulombiana elettrone-lacuna permette di considerare entrambi come un' unica quasiparticella detta **eccitone**.

-elettrone promosso in conduzione : s-like

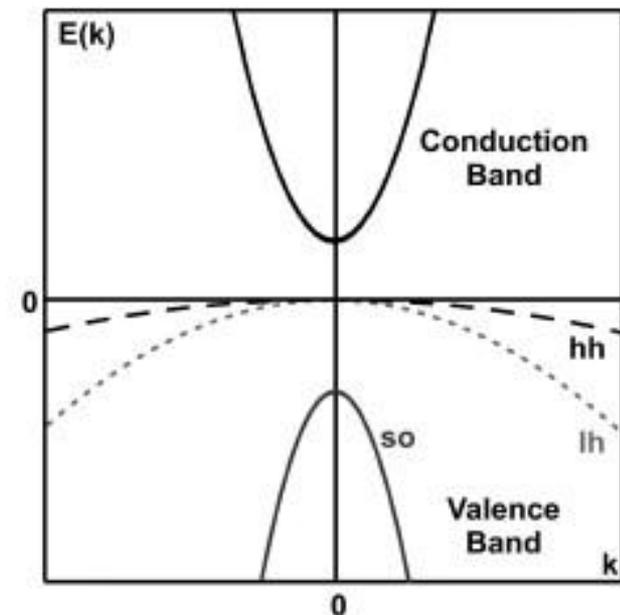
$$\mathbf{L=0, S=1/2 \Rightarrow J=1/2}$$

- nella banda di valenza : p-like

$$\mathbf{L=1, S=1/2 \Rightarrow J=1/2, 3/2}$$

Per $\mathbf{J=1/2}$ si ha lo spin-orbit split-off (SO)

mentre per $\mathbf{J=3/2}$ si hanno:
 heavy holes (HH) con $\mathbf{J_z=\pm 3/2}$
 light holes (LH) con $\mathbf{J_z=\pm 1/2}$



Si analizzano le transizioni tra stati di eccitoni :

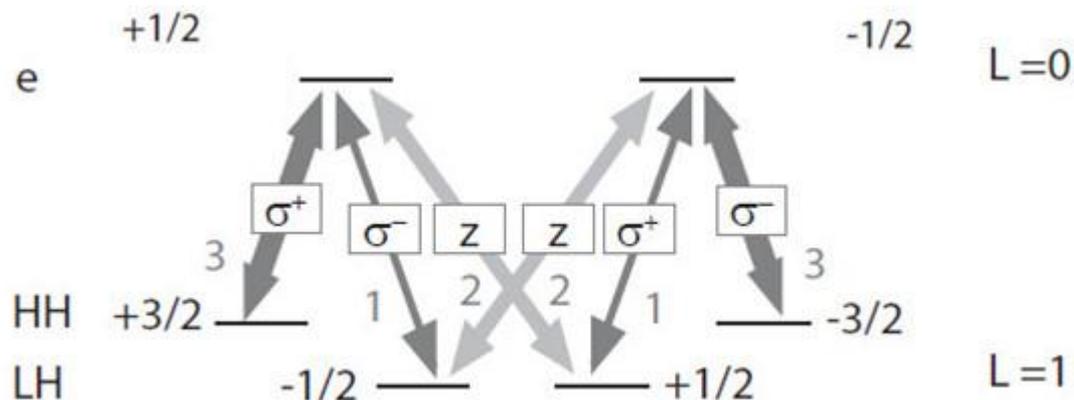
- transizioni riguardanti SO trascurabili a causa del grande splitting (circa 350 meV)
- approssimazione di dipolo elettrico

regole di selezione:

$$J - J' = 0, \pm 1 \quad L - L' = \pm 1 \quad J_z - J'_z = 0, \pm 1$$

$$P_i \neq P_f$$

transizioni con $J_z - J'_z = \pm 1$: fotoni con polarizzazione circolare (σ),
 per $J_z - J'_z = 0$ si ha polarizzazione lineare (z).



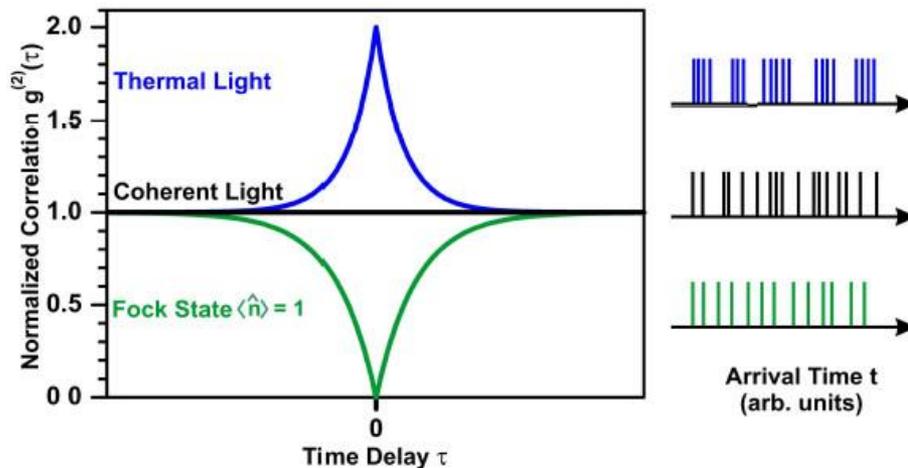
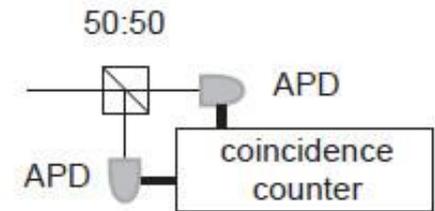
Un quantum dot rappresenta quindi una sorgente di singoli fotoni, hanno comportamento di **antibunching** e stato rappresentato da uno stato di Fock:

$$\hat{n}|n\rangle = \hat{a}^+ \hat{a} |n\rangle = n|n\rangle$$

Lo stato di un fotone emesso da un quantum dot è perciò : $|1\rangle$

Questo tipo di fotoni viene distinto sperimentalmente da altri con una misura della funzione di correlazione del secondo ordine tramite interferometro di Hanbury-Brown-Twiss:

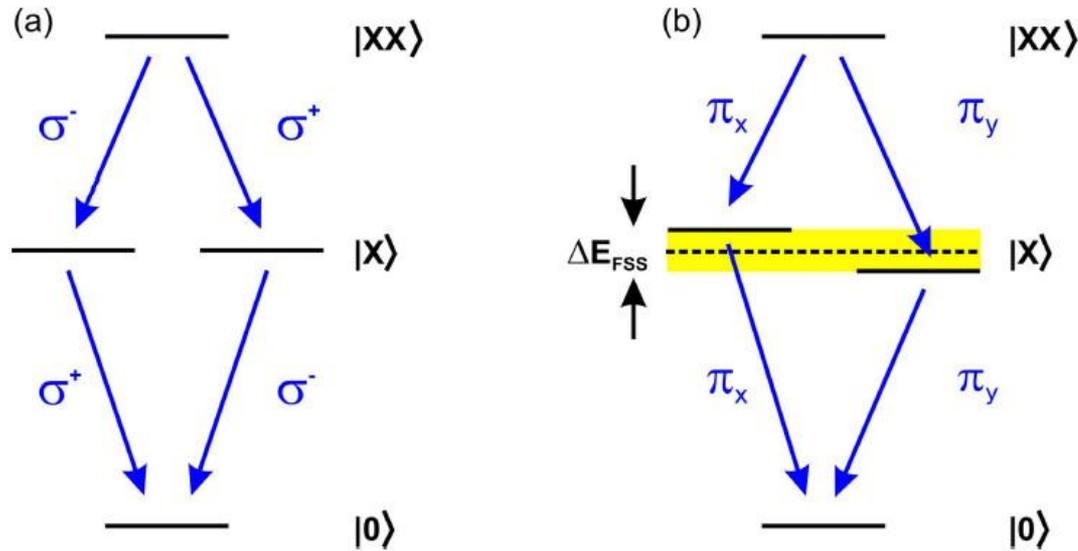
$$g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle \bar{I}(t) \bar{I}(t + \tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle^2} = \frac{\langle E^*(t) E^*(t + \tau) E(t + \tau) E(t) \rangle}{\langle E^*(t) E(t) \rangle^2}$$



antibunching:

$\tau=0$, la probabilità di rivelare simultaneamente 2 fotoni è nulla

Se viene promosso in conduzione un secondo elettrone si forma il **bieccitone**



(a) $\Delta E_{FSS} = 0$

Si hanno fotoni entangled :

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\sigma_+\rangle_1 |\sigma_-\rangle_2 + |\sigma_-\rangle_1 |\sigma_+\rangle_2)$$

(b) $\Delta E_{FSS} \neq 0$

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\pi_x\rangle_1 |\pi_x\rangle_2 + |\pi_y\rangle_1 |\pi_y\rangle_2)$$