

4 Éxcitons

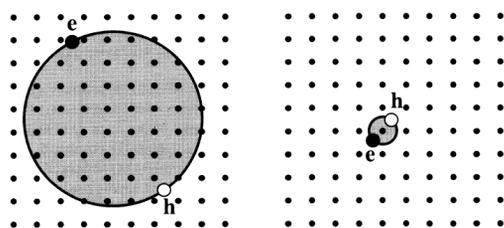
PCM - 2017
Unesp - Prof. Humberto

4.1 Conceito de Éxciton

- Éxciton:
- par elétron-buraco + interação Coulomb

Wannier-Mott (éxcitons livres)

Frenkel (éxcitons ligados)



(a) Free exciton

(b) Tightly bound exciton

- Éxcitons livres => separação de elétrons e buracos >> separação interatômica.
- Movimentação em um meio efetivo, sistema tipo hidrogênico.
- Éxcitons ligados => maior energia de ligação, separação da ordem da separação interatômica.

Éxcitons estáveis

- Energia suficiente para não ser desfeito pelos fónons.

$$k_B T_{amb} = 0.025 eV$$

$$E_{WannierMott} = 0.01 eV$$

$$E_{Frenkel} = 0.1 - 1 eV$$

R_X - cresce
 a_X - decresce
 quando
 E_g cresce

Table 4.1 Calculated Rydberg constant and Bohr radius of the free excitons in several direct gap III-V and II-VI compound semiconductors.

E_g : band gap.
 R_X : exciton Rydberg constant from eqn 4.1.
 a_X : exciton Bohr radius from eqn 4.2.
 The bracketed figures for InSb indicate that there has been no experimental confirmation of the values.

Crystal	E_g (eV)	R_X (meV)	a_X (nm)
GaN	3.5	23	3.1
ZnSe	2.8	20	4.5
CdS	2.6	28	2.7
ZnTe	2.4	13	5.5
CdSe	1.8	15	5.4
CdTe	1.6	12	6.7
GaAs	1.5	4.2	13
InP	1.4	4.8	12
GaSb	0.8	2.0	23
InSb	0.2	(0.4)	(100)

4.2 Éxcitons Livres

- Energia de Ligação e Raios Característicos

$$E_n = -\frac{\mu}{m_e \epsilon_r^2} \frac{R_H}{n^2} = -\frac{R_X}{n^2}$$

$$r_n = \frac{m_0}{\mu} \epsilon_r n^2 a_H = n^2 a_X$$

$$a_X = \frac{m_0 \epsilon_r}{\mu} a_H$$

Raio de Bohr do éxciton

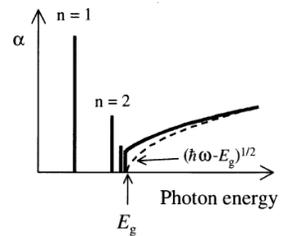
$$R_X = -\frac{\mu}{m_e \epsilon_r^2} R_H$$

Energia de Rydberg do éxciton

Absorção de Éxcitons

- Espera-se a absorção de éxcitons próximas da banda fundamental.

$$E_n = E_g - \frac{R_X}{n^2}$$



linha tracejada: sem efeitos excitônicos

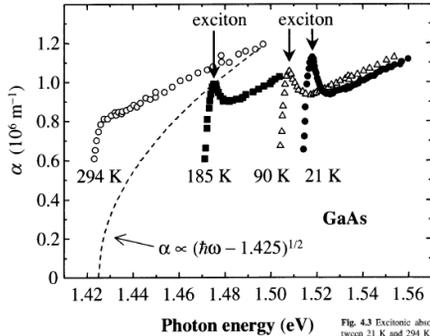


Fig. 4.3 Excitonic absorption of GaAs between 21 K and 294 K. The dashed line is an attempt to fit the absorption edge using eqn 3.25 with a value of E_g equal to 1.425 eV, which is appropriate for GaAs at 294 K. After [1], copyright 1962 American Physical Society, reprinted with permission.

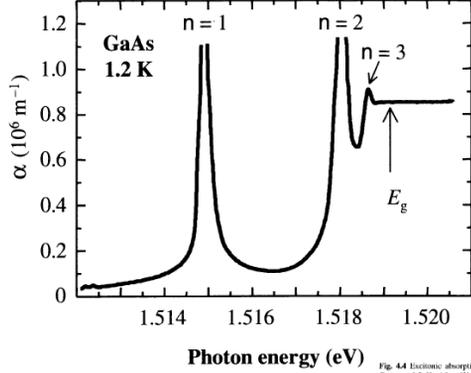


Fig. 4.4 Excitonic absorption of ultra pure GaAs at 1.2 K. After [2], copyright 1985 Excerpta Medica Inc., reprinted with permission.

4.3 Éxcitons Livres em Campos Externos (não cai na avaliação)

- 4.3.1 Campos Elétricos

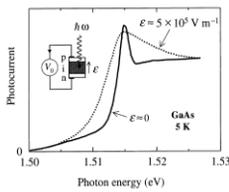
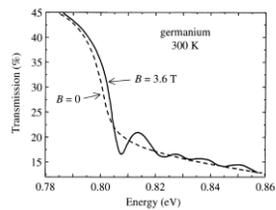


Fig. 4.5 Field ionization of the free excitons in GaAs at 5 K. The data was taken on a GaAs p-n diode with an region thickness of 1.0 μm. The solid line corresponds to the "dark" conditions (forward bias = 1.4 kV, $E = 0$), while the dashed line is for a forward bias of 1.00 kV, where $E = 5 \times 10^3 \text{ V m}^{-1}$. No exciton lines are resolved at zero bias. After G. von Philips and A.M. Temolin, Personal communication.

- 4.3.2 Campos Magnéticos (não cai na avaliação)

$$h\omega = E_g + (n + \frac{1}{2}) \frac{e\hbar B}{\mu}; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.32)$$



• 4.4 Éxcitons Livres em Altas Densidades

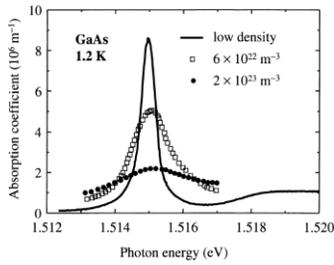
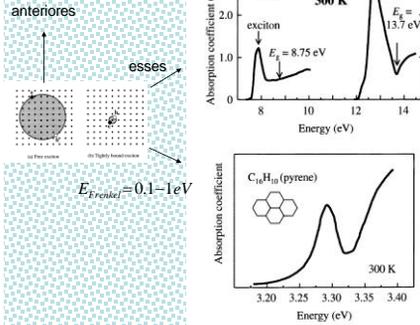


Fig. 4.7 Absorption coefficient of GaAs in the spectral region close to the band edge at 1.2 K at three different excitation powers. The carrier densities generated for the two higher power levels are indicated. After [2], copyright 1985 Excerpta Medica Inc., reprinted with permission.

4.5 Éxcitons Ligados (Frenkel)

Exemplos:



Próximos Capítulos

- Cap. 5 – Luminescência
- Cap.6 – Confinamento Quântico
- Cap. 7 – Elétrons livres / metais
- Cap. 10 - Fônons

Exercícios - Cap. 4 – Éxcitons

1. (i) Calcule a energia de Rydberg e o raio de Bohr dos éxcitons do GaAs, o qual tem $\epsilon_r = 12,8$; $m_e = 0,067m_0$; $m_h = 0,2m_0$. (ii) O GaAs tem estrutura cúbica, cuja célula unitária tem aresta de 0,56nm. Estime o número de células unitárias contidas dentro da órbita dos éxcitons do nível fundamental ($n=1$). A partir desse resultado, analise a validade de assumir que o éxciton encontra-se em um meio dielétrico uniforme. (iii) Estime a temperatura mais alta na qual será possível observar éxcitons estáveis no GaAs.

2. A Hamiltoniana do movimento relativo de um par elétron-buraco em um semiconductor é das por:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r}$$

(a) Explique a origem dos dois termos que aparecem na Hamiltoniana. Mostre que a função de onda $\psi(r, \theta, \phi) = Ce^{-r/a_0}$ é uma solução da Eq. de Schödinger

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

e encontre os valores de E e a_0 . Encontre também o valor da constante de normalização C.

3. Calcule a diferença de comprimentos de onda dos éxcitons $n=1$ e $n=2$ do InP, o qual tem $\epsilon_r = 1,424$; $m_e = 0,077m_0$; $m_h = 0,2m_0$ e $\epsilon_r = 12,4$. Você espera que esses éxcitons sejam estáveis a temperatura ambiente?

4. Os éxcitons podem absorver fótons fazendo transições para estados excitados exatamente da mesma maneira que os átomos de hidrogênio. Calcule os comprimentos de onda dos fótons requeridos para promover um éxciton do GaAs ($\epsilon_r = 12,8$; $\mu = 0,05m_0$) do estado $n=1$ para o estado $n=2$.