

空间色散的光学双稳态理论

甘子钊

杨国桢

(北京大学物理系)

(中国科学院物理研究所)

近年来,光学双稳态的理论和实验研究引起了人们愈来愈大的兴趣,在通常的光学双稳态理论中,把极化率 x 看成是光频 ω 和光强 I 的函数,即写成 $x(\omega, I)$ 。另一方面,最近二十多年,空间色散介质(例如半导体中的激子)的光学理论得到了迅速发展。在空间色散的光学理论中,把极化率 x 看成是光频 ω 和波矢 k 的函数,即写成 $x(\omega, k)$ 。本工作的目的是试图把上述两种理论普遍化和统一起来,把极化率 x 看成是光频 ω 、波矢 k 和光强 I 三者的函数,即 $x(\omega, k, I)$, 并用来讨论半导体中激子的光学双稳态现象。

作者曾发展了半导体中光的相干传播理论,得到了描述在光场作用下半导体中激子谱线相干激发的 Bloch 方程组。利用该 Bloch 方程组,在平均场近似下(对光场激发的激子密度取平均),得到了 ω, k 和 I 满足的色散方程为:

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \left[\varepsilon_0 + 4\pi\chi_0 \frac{1}{1+M/2} \cdot \frac{1}{\Delta\omega_0 + \beta k^2 - \frac{i}{\tau_T}} \right], \quad (1)$$

$$\chi_0 = \left(\frac{\mu_0}{4\pi\hbar a^3} \right),$$

$$\Delta\omega_0 = \omega_{ex} - \omega,$$

$$\beta = \hbar/2\mu,$$

$$\mu_0 = eP(0)/mc$$

这里 k 是空间色散介质光波波矢, ω 是光频, c 是光速, ε_0 是真空中介电常数, a 是激子的半径, μ_0 是激子的偶极矩, $P(0)$ 是带间跃迁矩阵元, m 是电子-空穴的约化有效质量, τ_T 是激子的横向弛豫时间, M 是与光强 I 有关的复杂的函数。与通常的空间色散方程比较, (1) 式中多了与光强有关的项 $(1+M(I)/2)^{-1}$ 。当 $M=0$ 时, (1) 式即为通常的空间色散方程。从推广后的色散方程 (1) 出发,可以解得在某一光频 ω 和 M 下存在两组波矢 $k_1(\omega, M)$ 和 $k_2(\omega, M)$ 。

以 F-P 型光动双稳态为例,考虑到光波电场和极化波满足的边界条件(ABC 条件),得到了输入光强 I_{in} 和输出光强 E_{out} 与 M 的一般关系式。利用此关系式,可以讨论空间色散介质中的光学双稳态现象。

最后,以 GaAs 的 8160 Å 附近的分立的激子态为例,作了数值计算,理论结果与实验结果基本相符。值得强调指出的是,在空间色散介质中,不仅能观察到光学双稳现象,并且较易观察到各种类型的光学多稳现象。