

光波导的微观量子理论

方俊鑫

孙 弘

(上海交通大学应用物理系) (同济大学物理系)

目前流行的光波导理论是建立在麦克斯韦方程基础上的宏观理论。虽然在解决一些波导技术问题方面宏观理论已取得了很大成功,但对一些较基本的问题宏观理论却无能为力。例如光是怎样通过与波导物质相互作用而在波导中传播的,为什么波导导模光的性质与一般光的性质大不相同(如导模光可集中在很小的区域中传播而几乎没有衍射损耗)等等。搞清这些问题,不但在理论上能使我们加深对波导理论中的一些基本概念有更深刻的理解,而且也有实际意义。例如要解决光纤通讯的“最佳工作波长”问题,不可避免地要涉及光和波导中物质的互作用。为此本文以光子与波导中物质元激发杂交耦合形成波导导模的观点为出发点,在更为基础的物理过程上建立波导的微观量子理论。本文所建立的理论很容易用来建立波导结构中光散射的微观量子理论。

本文考虑最简单的平面波导结构:直角坐标系原点设置在平面波导的两个表面之间的中点, z 轴沿波导方向, x 轴垂直表面。假设波导介质为简立方晶体(晶体常数 a),晶轴与宏观坐标轴平行,各原胞只有二个价电子,且原子实对价电子的束缚较强,即可用 Frenkel 激子来描写波导晶体的电子态。文中给出在二次量子化的框架内波导结构中光场和 Frenkel 激子场耦合体系的哈密顿算符。完成了对波导结构中光场和 Frenkel 激子场耦合体系的对角化,并通过色散关系证实了宏观波导理论中的导模光实际上是波导结构中光子和 Frenkel 激子的耦合量子——波导 Polariton。

文中还讨论了表面和空间色散效应对波导 Polariton 色散关系的影响以及 Frenkel 激子准玻色性所引起的波导 Polariton 的散射损耗。