

ZnSe/ZnS 多量子阱光开关的优化设计

刘玉东 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系, 黑龙江, 哈尔滨, 150006)

申德振 范希武

(中国科学院长春物理研究所, 吉林, 长春, 130021)

提出了 ZnSe/ZnS 多量子阱光开关的综合优化设计方案. 根据 Kronig-Penney 模型对多量子阱结构进行优化, 根据实验结果对多量子阱构成的非线性 F-P 进行了优化设计.

关键词: 多量子阱结构, 硒化锌硫化锌 (ZnSe/ZnS), 优化.

1 引言

器件的优化设计对实现器件实用化是必不可少的, 以往对光开关只优化器件的参数^[1], 而没有考虑材料参数. 随着分子束外延(MBE)和金属有机化学气相沉积(MOCVD)技术的发展, 目前已有可能先对材料结构进行优化设计, 然后再进行器件的优化.

本文从 ZnSe/ZnS 多量子阱结构出发, 提出了包括材料和器件的综合优化方案. 材料优化基于 Kronig-Penney 模型, 首先计算出不同阱宽和垒宽所对应的激子能级, 选择具有最强激子效应的结构, 提高其非线性程度. 器件参数的优化主要是根据实验测得的参数对非线性 F-P 进行最佳优化设计, 以确定器件的阈值^[2].

2 材料结构参数

当多量子阱结构中垒宽较小时, 相邻势阱的波函数相互交迭, 电子(或空穴)可以通过隧道效应穿过势垒, 这样便构成了超晶格, 只有势垒足够宽的结构, 其相邻势阱波函数完全分开, 才能保持多量子阱结构. 超晶格与多量子阱在能级上的区别在于: 超晶格的激子能级是具有一定宽度的带, 其阱内激子是三维而不是二维的, 激子束缚能比多量子阱结构的激子束缚能小, 因而, 超晶格的激子效应比多量子阱弱.

对于多量子阱器件的设计, 要想突出激子效应, 首先应选择合适的阱宽和垒宽. 我们在文献 [3] 中计算了势阱和垒等宽的情况. 为了得到不同阱宽的多量子阱, 本文选择了垒宽 $a=4\text{ nm}$ 和 8 nm 对阱宽 $L_w=0\sim 5\text{ nm}$ 范围内进行了计算, 得到激子能级图如图 1 所示.

本文 1990 年 2 月 19 日收到, 修改稿 1990 年 11 月 12 日收到.

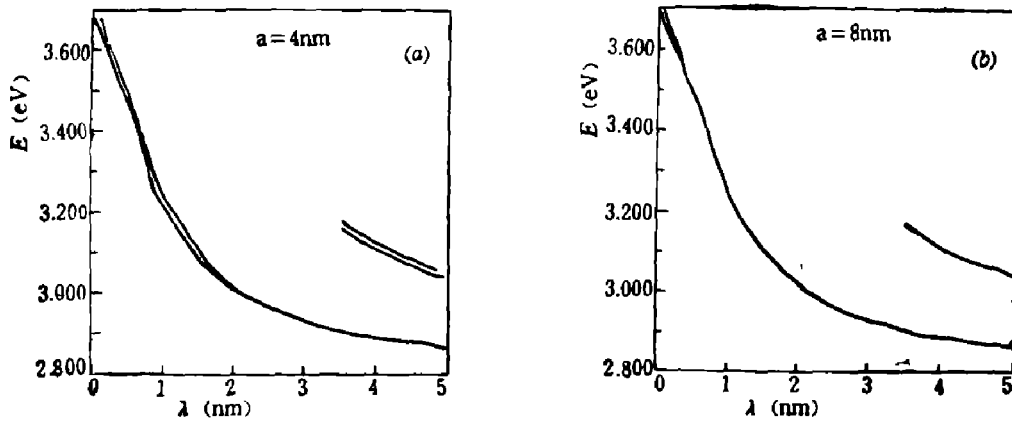


图1 ZnSe/ZnS 多量子阱中的激子能级随阱宽的变化曲线

Fig. 1 The exciton energy bands in ZnSe/ZnS MQWs calculated as a function of well width

图1(a)中垒宽 a 为4nm, 对于 $n=1$ 激子能级, 只有阱宽大于3.5nm, 才属于量子阱结构. 其它 n 值的激子能级都不是单值的, 而是有一定宽度. $n=2$ 激子能级在波长为5nm范围内是具有一定宽度的能带. 由图1还可以看出, 激子能带的宽度取决于垒宽, 垒宽增大, 能带变窄, 垒宽为8nm时, $n=1$ 的能级基本上是单值的. 另外, 阱宽 L_w 决定了能级中心位置, 而垒宽 a 的变化不改变能级中心位置. 因而, 可根据 a 来改变器件的厚度, 也可以减小 a 以减小不必要的厚度.

根据Chemla^[4]的计算, 当阱宽 L_w 满足不等式

$$0.5a_{3D} \leq L_w \leq a_{3D} \quad (1)$$

时, 激子束缚能最大, 式(1)中 a_{3D} 为三维情况下的玻尔半径. 在ZnSe材料中, a_{3D} 为5.1nm^[5]. 对于ZnSe/ZnS多量子阱, L_w 可取为3~5nm之间. 考虑到选用的波长, 选择 $L_w=5$ nm较为合适, 其 $n=1$ 的激子能级为2.864eV, 对应的激子峰波长为432.9nm, 可用香豆素440染料激光器作为光源.

3 器件结构参数

考虑集成化器件的应用, 我们可以设计一种器件, 使非线性材料和F-P腔镜均用MBE

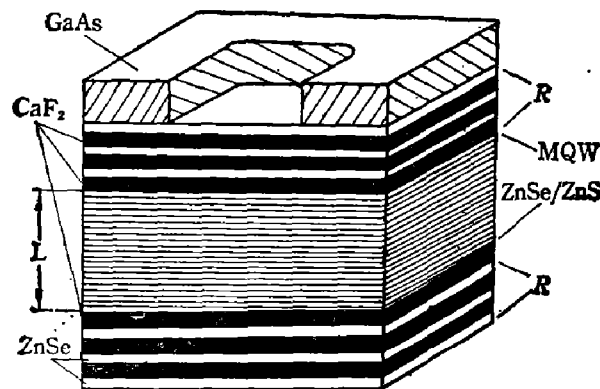


图2 MBE/MOCVD方法一次生长的非线性F-P结构

Fig. 2 The structure of nonlinear F-P etalon grown by MBE/MOCVD

或 MOCVD 方法一次生长在 GaAs 衬底上, 形成均匀的非线性 F-P 结构, 如图 2 所示. 先在衬底上生长几层由 CaF_2 和 ZnSe 组成的多次反射层, 然后再生长多层量子阱, 最后再生长多次反射层.

3.1 F-P 中心波长

为了取得最大光学非线性, 设计的 F-P 腔透过峰中心波长应对应折射率最大变化处, 如图 3 所示. 我们可以通过测量非线性折射率变化进行选择^[3]. ZnSe/ZnS 多量子阱吸收线宽为 3 nm, 因而, 在偏离激子峰 $\sim 1.5 \text{ nm}$ (即 λ 为 434.4 nm) 处, Δn 应为最大.

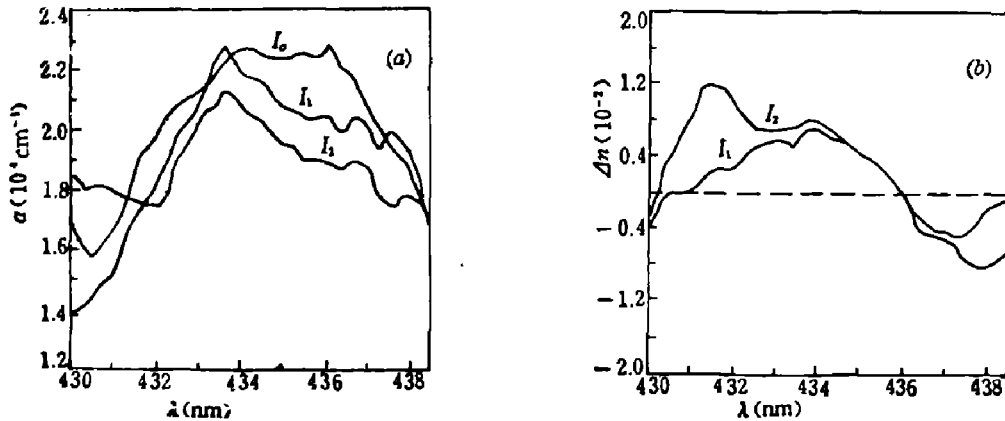


图 3 77K 时 ZnSe/ZnS 多量子阱的吸收谱(a)和 Δn 变化曲线(b)
($I_0=26.68 \text{ kW/cm}^2$, $I_1=128.5 \text{ kW/cm}^2$, $I_2=171.9 \text{ kW/cm}^2$ ^[3])

Fig. 3 The absorption spectrum (a) and the change in Δn (b) in ZnSe/ZnS MQWs at 77K

3.2 F-P 腔反射镜

由于中心波长选在 434.4 nm, 构成反射镜的多次反射层的每层厚度应由 $\lambda/4n$ 决定. 对于 ZnSe , $n=2.45$, 每层厚度为 44.3 nm; 对于 CaF_2 , $n=1.43$, 厚度为 75.9 nm. 反射率由下式计算:

$$R = \left[\frac{n_0 - \left(\frac{n_H}{n_L} \right)^{2p} \frac{n_H^2}{n_S}}{n_0 + \left(\frac{n_H}{n_L} \right)^{2p} \frac{n_H^2}{n_S}} \right]^2, \quad (2)$$

式中 n_S , n_0 分别为入射光和出射光的介质折射率(此处 n_0 是空气折射率), n_H , n_L 分别是多次反射层的高、低介质折射率, $n_H=n_S$, n_L 分别是 ZnSe 和 CaF_2 的折射率. 对应不同层数算得的 F-P 腔镜反射率列于表 1.

表 1 对应不同层数多次反射层的 F-P 结构参数

Table 1 The parameters of F-P etalon for various number of reflective layers

P	R%	L_{min} (μm)	F	I_c	
				\bar{M}_0	M_0
3	93.7	3.42	2.96	1.94 W/cm ²	3.23 MW/cm ²
4	97.8	1.19	3.38	1.70 W/cm ²	2.83 MW/cm ²
5	99.3	0.38	5.82	989m W/cm ²	1.64 MW/cm ²
6	99.7	0.16	11.3	509m W/cm ²	845 kW/cm ²
7	99.9	0.05	32.7	176m W/cm ²	292 kW/cm ²

3.3 非线性 F-P 参数

当选择的波长和光强一定时, 折射率的变化也是一定的, 要想产生足够的相移来实现光双稳态, 腔长应足够长^[1,7]. 最小腔长应满足

$$L_{\min} = \frac{\lambda(1-R)}{2\Delta n} = 54.3(1-R)\mu\text{m}. \quad (3)$$

表 1 列出了不同反射率对应的最小腔长.

根据图 3 可以计算出阱宽和垒宽分别为 5 和 4 nm 时, $\lambda = 434.4 \text{ nm}$, 吸收系数为 $\alpha = 2 \mu\text{m}^{-1}$, 折射系数为 $n_2 = 3.11 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kW}$. 由此可计算出 F-P 腔的精细度^[1]为

$$F = \frac{\pi}{2-R-e^{-\alpha l}}, \quad (4)$$

实现双稳态的阈值为

$$I_0 = \frac{2\lambda\alpha}{9n_2} \frac{1}{0.65F}. \quad (5)$$

计算结果参见表 1.

4 结 论

综上所述, 我们从材料出发, 对 ZnSe/ZnS 多量子阱光开关进行了材料和器件的最优化设计, 并计算了各种参数. 结果表明最佳设计的器件结构为: 生长在 GaAs 衬底上, 两端反射镜为 $\text{CaF}_2(75.9 \text{ nm})/\text{ZnSe}(44.3 \text{ nm})$ 的多次反射层具有 7 个周期, $\text{ZnSe}(5 \text{ nm})/\text{ZnS}(4 \text{ nm})$ 多量子阱具有 18 个周期, 总厚度为 $0.16 \mu\text{m}$, 对应的非线性 F-P 精细度为 11.3, 对应双稳态阈值平均功率密度 \bar{M}_0 为 $509 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 脉冲峰值功率密度 M_0 为 $845 \text{ kW}/\text{cm}^2$.

参 考 文 献

- 1 Miller D A B. *IEEE J. Q. E.*, 1981; **17** (3): 306
- 2 刘玉东 et al. *中国激光*, 1991; **17** (9): 549
- 3 刘玉东 et al. *红外与毫米波学报*, 1991; **10** (2): 95
- 4 Chemla D S et al. *IEEE J. Q. E.*, 1984; **20** (3): 265
- 5 Peyghambarian N et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1983; **52** (3): 132

OPTIMIZATION DESIGN OF OPTICAL SWITCH OF ZnSe/ZnS MULTIPLE QUANTUM WELLS

LIU YUDONG, LI CHUNFEI

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150006, China)

SHEN DEZHEN, FAN XIWU

(Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130021, China)

A general optimization design of ZnSe/ZnS multiple quantum wells optical switch is proposed. The optimization of multiple quantum wells structure is made according to Kronig-Penny model. The multiple quantum wells nonlinear Fabry-Perot etalon is designed based on the experimental data.

Key words: multiple quantum well structures, zinc selenide/zinc sulfide (ZnSe/ZnS), optimization.