

竖直液相外延炉生长 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ 晶格匹配异质结激光器

王海龙 沈玉华 曹根娣 张位在 朱筱春 陈鹤明

(中国科学院上海光机所)

$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ lattice-matched heterojunction lasers grown by vertical LPE furnace

Wang Hailong, Shen Yuhua, Cao Gendi, Zhang Weizai, Zhu Xiaochun, Chen Heming

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

提要: 本文根据 Vagard 定律, 得到了 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ 异质结晶格匹配条件, 设计了生长参数, 首次采用竖直液相外延炉生长了 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ 晶格匹配异质结, 并制成了二极管激光器。

关键词: 晶格匹配, 异质结

一、引言

铅盐半导体可调谐激光器, 作为一种电流及温度调谐、输出波长复盖 $2.5\sim 50\mu\text{m}$ 的红外光源, 有着重要的应用^[1]。但是通常采用扩散方法制成的同质结激光器工作温度比较低, 限制了它的应用范围。为此人们采用了液相外延方法制成了异质结激光器, 实现了液氮温度以上的连续运转^[2~4]。然而, 由于 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}$ 异质结晶格常数失配, 使得它的输出功率比较低, 且在实际应用中经过几个“热-冷”循环, 其性能就退化了。为了克服这一缺点, 生长了晶格匹配异质结, 取得了较好的结果^[5~7]。

本文根据 Vagard 定律, 得到了 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ 异质结晶格匹配条件, 设

计了生长参数, 首次采用竖直液相外延炉生长了 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ 晶格匹配异质结构, 制成了长波半导体可调谐激光器。

二、实验

2.1 实验装置

本实验采用了特制的竖直液相外延炉, 炉子外壳采用镀金石英管, 因此热惯性小, 升(降)温速度快, 容易控制。炉内横向温度均匀, 纵向可产生一定的温度梯度, 有利于外延生长。采用圆盘式石墨舟结构, 如图 1 所示。转动灵活, 用于生长多层结构十分方便。保护气体采用上海冶金所研制的 TiFe_0Mn_y 合金储氢瓶中的高纯氢气, 比通常的钨管操作简单, 大大缩短了外延生长的工作周期。

收稿日期: 1987 年 12 月 9 日。



图1 圆盘式石墨舟结构图
中图为衬底托,左图为源井,右图为压盘

2.2 生长参数设计

根据 Vagard 定律有:

$$\begin{aligned}
 a_{\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y} &= xy a_{(\text{SnSe})} + x(1-y) a_{(\text{SnTe})} \\
 &+ (1-x) y a_{(\text{PbSe})} \\
 &+ (1-x)(1-y) a_{(\text{PbTe})} \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中: a_{α} 为各种合金的晶格常数: $a_{\text{PbTe}} = 0.6460 \text{ nm}$, $a_{\text{PbSe}} = 0.6126 \text{ nm}$, $a_{\text{SnTe}} = 0.6328 \text{ nm}$, $a_{\text{SnSe}} = 0.6003 \text{ nm}$ 。代入(1)式则有:

$$\begin{aligned}
 a_{(\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y)} &= 0.6460 - 0.0132x \\
 &- 0.0334y + 0.0009xy \quad (2)
 \end{aligned}$$

对于 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ 异质结构,在晶格匹配时,则有:

$$a_{\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}} \approx a_{\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y} \quad (3)$$

由(2),我们不难推出满足(3)式的组分 x 、 y 应满足:

$$y \approx 0.395x \quad (4)$$

本文采用 p -型 $\text{Pb}_{0.50}\text{Sn}_{0.20}\text{Te}$ 为衬底,有源层设计为 $\text{Pb}_{0.79}\text{Sn}_{0.21}\text{Te}$,根据(4)式,则限制层应为 $\text{PbTe}_{0.917}\text{Se}_{0.083}$ 。表1列出了主要生长参数。

表1 生长参数

层次	配 比				生长程序	
	Pb (g)	Sn (mg)	Te (mg)	S ₂ (mg)	温度 (°C)	降温 (°C/min)
金属腐蚀	1	143.2			560	
有源层	1	152.3	25.75		560~550	1
限制层	1		16.3	0.9	550~540	1

2.3. 激光器制造及性能测试

生长好的异质结外延片,减薄至 150~200 μm ,两面电镀 Au 及 In 作为欧姆接触,

然后解理成 200×500 小管芯装在特制的二极管管座上,先在液氮温度下检查二极管的伏安特性,再安装在温度可控制在 10~100K 的致冷机的冷指上,以 1/2 占空比的方波电源驱动,其激光输出用 HgCdTe 探测器接收,输出波长由红外单色仪测定。

三、结果和讨论

图2(a)、(b)分别为失配异质结及匹配异质结外延片的表面形貌。可以看到晶格匹配的异质结表面要比失配情况下来得平整及光滑。

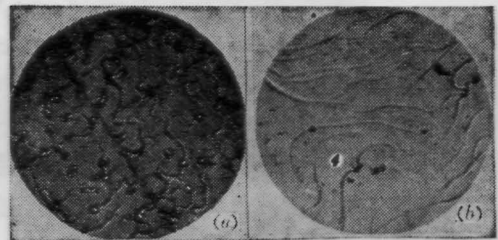


图2 异质结外延片表面形貌
(a) 晶格失配时; (b) 晶格匹配时

图3(a)(b)为采用 Norr 腐蚀所显示的晶格失配异质结及晶格匹配异质结解理面照片。从图3(a)中可看到第一层由于同衬底组分相同,所以晶格是匹配的,结线平直。而第二层 PbTe 同第一层 $\text{Pb}_{0.50}\text{Sn}_{0.20}\text{Te}$ 晶格失配较大,因此结线明显地不平。在图3(b)中,由于 $a_{\text{PbTe}_{0.917}\text{Se}_{0.083}} \approx a_{\text{Pb}_{0.79}\text{Sn}_{0.21}\text{Te}}$,晶格比较匹配,所以结线直,异质结界面质量好,应力小,

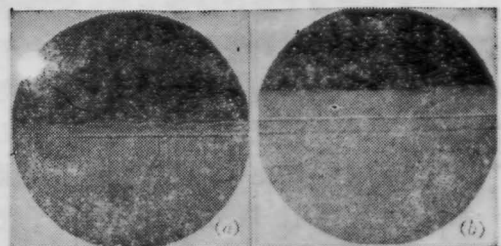


图3 异质结解理面腐蚀照片
(a) $\text{PbTe}/\text{Pb}_{0.50}\text{Sn}_{0.20}\text{Te}/\text{Pb}_{0.50}\text{Sn}_{0.20}\text{Te}(\text{Sub})$;
(b) $\text{PbTe}_{0.917}\text{Se}_{0.083}/\text{Pb}_{0.79}\text{Sn}_{0.21}\text{Te}/\text{Pb}_{0.50}\text{Sn}_{0.20}\text{Te}(\text{Sub})$

位错密度低。这有利于降低激光器的阈值电流和提高激光器的工作温度,可避免由于界面不平所引起的激光器退化,从而提高了激光器的使用寿命。

图4为激光器在77K下的伏安特性。从中看到 $p-n$ 结的导通电压 $\sim 80\text{mV}$,近于有

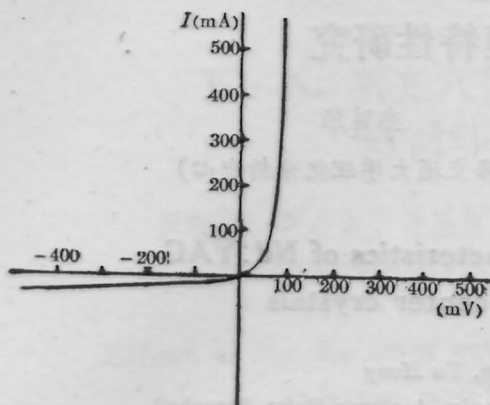


图4 $\text{PbTe}_{0.917}\text{Se}_{0.083}/\text{Pb}_{0.79}\text{Sn}_{0.21}\text{Te}/\text{Pb}_{0.80}\text{Sn}_{0.20}\text{Te}(\text{Sub})$ 异质结激光二极管在77K下的伏-安特性

(上接第355页)

D_4 之和为1,这时本位和 S 为1,后级进位 C_{i+1} 也为1。

图3与图4是从示波器上拍得的照片。图3表示四个探测器分别探测到的脉冲波形,图4表示 A_i 、 B_i 、 C_i 不同输入信号组合时本位和 S 及后级进位 C_{i+1} ,其强度关系与真值表完全一致。

四、讨 论

要构成电子计算机的全加器需要九个与非门电子元件,而我们的全加器只需要两个光双稳器件,这说明光学方法比电子学方法节省元件,如果将基于热机制的干涉滤光片

源层带宽。由于材料的串联电阻比较小,反向电流很小,表明异质结的电学特性比较好。

激光器在1/2占空比的方波电流驱动下,阈值 $I_{th}=300\text{mA}$ (工作温度为21K),输出波长为 $14.6\mu\text{m}$ 。

参 考 文 献

- 1 A. W. Mantz, "Application of tunable diode laser", Spectra Physics, Inc. Laser Analytics Division
- 2 L. R. Tomasita *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **24**(11), 560~570(1974)
- 3 E. Silbery *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **31**(10), 699 (1977)
- 4 S. H. Grover *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **25**(6), 331 (1974)
- 5 A. P. Shotov *et al.*, *Sov. Technical Phys. Lett.*, **(512)**, 629(1979)
- 6 D. Kasemset *et al.*, *IEEE Electron Devices Letters*, **EDL-1**(5), 75~78(1980)
- 7 A. Zussman *et al.*, *IEEE Proc-1 Solid-state and Electron Devices* 1982, **129**(1), part 1, 203~208
- 8 D. Kasemset *et al.*, *J. of Electron Materials*, **10**(5), 863(1981)

双稳器件换成电子机制的半导体双稳器件,则器件开关速度将大大提高,而且能实现集成化,进行高度并行处理(如 1mm^2 的GaAs量子阱器件可集成 1000×1000 个元件),又由于光学元件的抗电磁干扰能力,从而使构成光计算机的CPU将比电子计算机优越。

本装置的缺点是干涉滤光片器件需要倾斜放置,这对实现并行处理不利,最近我们已经研究成功一个正入射单元件光学全加器,即将发表。

参 考 文 献

- 1 F. A. P. Tooley *et al.*, *Opt. Commun.*, **63**(6), 365 (1987)