

ECR Plasma CVD 法定积 808nm 大功率 半导体激光器光学膜工艺研究

谭满清 茅冬生

(中国科学院半导体研究所光电子器件国家工程研究中心 北京 100083)

摘要 本文介绍了电子回旋共振等离子体化学气相沉积(简称 ECR Plasma CVD)法定积 808nm 大功率半导体激光器两端面光学膜的工艺,给出了工艺条件,探索了膜系监控的方法和优越性,讨论了这种沉积方法的优点和沉积的光学膜的优良特性

PACC: 5250, 6855, 8115H, 4255P, 4260, 4278H, 4280, 7865

1 引言

808nm 大功率半导体激光器端面高反膜(HR)和增透膜(AR)对器件特性起着重要的作用:膜的光学特性好坏直接影响器件正面量子效率高;改变 AR 膜的反射率值可适当调节激光的峰值波长;端面介质光学膜同时也是器件的保护膜,等等。为达到较好的效果,沉积 808nm 大功率半导体激光器两端面的介质光学膜时除要求沉积膜的质量要好外,还应有膜厚监控。从膜的光学特性说,目前常用的电子束蒸发物理气相沉积(E-B)法定积的膜呈现“柱状结构”,容易吸潮^[1],质量不高;另外,不同反射率的 AR 膜的膜系往往为非规整结构,用通常光学膜厚监控法监控非规整膜系时由于受各种因素的影响,稳定性和精度都受到限制。为了提高器件端面光学膜的质量,本文提出用 ECR Plasma CVD 法定积 808nm 大功率半导体激光器两端面介质光学膜的新工艺。ECR Plasma CVD 法定积介质膜的原理在许多文献中均有报道^[2-7],介质膜除了有好的致密性之外,还具有沉积温度低、器件表面损伤少、容易实现不同的折射率等优点。本文将从工艺条件实验、膜厚监控方法、测量结果分析等方面系统探讨 ECR Plasma CVD 法定积 808nm 大功率半导体激光器两端面的 HR 膜和 AR 膜技术,并得出一些有价值的结论。

2 实验

在沉积 808nm 大功率半导体激光器两端面介质光学膜之前,用加有液氮冷阱的扩散泵

谭满清 男,1967 年出生,博士后,光学薄膜和光电子器件工艺专业

茅冬生 男,1940 年出生,高级工程师,光电子器件工艺专业

1998-04-13 收到,1998-07-24 定稿

将 ECR Plasma CVD 设备淀积室抽至本底真空度为 10^{-5} Pa 数量级的高真空

根据 808nm 大功率半导体激光器特性的要求, 器件一面需镀反射率大于 95% 的 HR 膜, 另一面依据实际情况镀制不同反射率 R 的 AR 膜 本实验方案中, HR 膜设计反射率为 96.4%, 使用的膜料为 $a\text{-SiSiO}_2$, 膜系结构为 $S/\lambda\text{HLHLH}0.2\lambda/A$, S 表示衬底, 等效折射率为 3.52, A 表示空气, H, L 分别表示光学厚度为 202nm 的 $a\text{-SiSiO}_2$, 系数 0.2 为该层 SiO_2 膜的光学厚度倍数; AR 膜设计的反射率为 11.7%, 使用光学厚度为 263nm 的单层 SiO_2 介质膜 $a\text{-SiSiO}_2$ 的折射率分别为 2.684、1.503 淀积 $a\text{-Si}$ 膜的工艺条件是: 微波源正向功率 300W, 反向功率 138W, 磁场电流 128A, 使用的反应气体为 SiH_4, O_2 和 Ar 气, 其流量分别为 21sccm、2sccm 和 8sccm, 淀积室气压为 0.31Pa; 淀积 SiO_2 膜的工艺条件是: 微波源正向功率 300W, 反向功率 4W, 磁场电流 130A, 使用的反应气体为 SiH_4, O_2 和 N_2 气, 其流量分别为 19sccm、11sccm 和 5sccm, 淀积室气压为 0.24Pa 淀积过程中衬底的温度大约为 40~90

淀积过程中, 各种气体流量用质量流量计精确监控, 膜系中的 $a\text{-SiSiO}_2$ 的厚度用时间监控 依据 HR 膜和 AR 膜的膜系结构, 通过预先计算的淀积每层膜的时间依次监控每层膜的厚度, 即可实现满足要求的光学膜 图 1 为淀积 $a\text{-Si}$ (实线) 和 SiO_2 (虚线) 的几何厚度随时间 t 的变化曲线 图 1 表明: ECR Plasma CVD 淀积 $a\text{-Si}$ 和 SiO_2 介质膜的过程为恒定淀积速率的过程, $a\text{-Si}$ 和 SiO_2 的淀积速率分别为 0.22nm/s 和 0.34nm/s, 由此计算出淀积光学厚度为 202nm 的 $a\text{-Si}$ 和 SiO_2 的时间分别为 5min 51s 和 6min 35s, 淀积 0.2λ (SiO_2) 膜层和 263nm 的 SiO_2 膜层的监控时间分别为 1min 19s 和 8min 33s

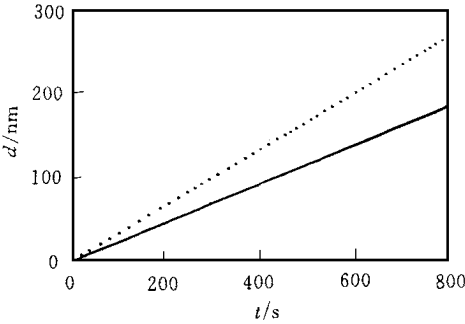


图 1 实测的淀积 $a\text{-Si}$ (实线) 和 SiO_2 (虚线) 膜的厚度 d 随时间 t 变化曲线

3 结果和分析

我们借助半导体器件端面镀光学膜前后量子效率的变化来推算端面光学膜 0° 入射角的反射特性 图 2 为用 ECR Plasma CVD 法镀制腔长为 $600\mu\text{m}$ 、发光区宽度为 $50\mu\text{m}$ 的 808nm 大功率半导体激光器 HR 膜 (设计 R 值为 96.4%) 和 AR 膜 (设计 R 值为 11.7%) 后测量的量子出光效率 结果表明: 正面出光效率为 $1.10\text{W}/\text{A}$, 阈值电流为 0.16A, 输出峰值波长为 808nm, 反面出光效率接近零 该激光器未镀端面膜时的出光效率为 $0.58\text{W}/\text{A}$, 阈值电流为 0.16A, 输出峰值波长为 807nm. 根据镀膜前后的器件量子效率的变化可知, ECR Plasma CVD 法镀制的端面高反膜的反射率接近 1, 根据镀膜前后阈值电流的不变可进一

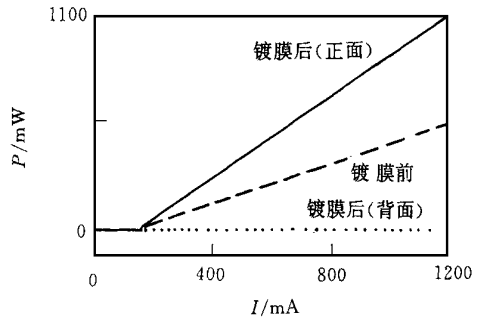


图 2 镀膜前后 808nm 大功率半导体激光器的量子效率比较

步推算出前端面增透膜的反射率应在 11% 左右,与设计值相符合。

另外,我们进行了另一只 808nm 大功率半导体激光器的端面镀膜实验,该器件的参数:腔长为 600 μm 、发光区宽度为 50 μm ,镀膜前的出光效率为 0.60W/A,阈值电流为 0.09A,输出峰值波长为 801nm。端面镀膜条件为:HR 膜反射率为 96.4%,AR 膜反射率为 18%。HR 膜工艺与前面一样,AR 膜工艺中, SiO_2 膜层厚度增加,监控时间为 9min 33s。镀膜后的出光效率为 1.07W/A,阈值电流为 0.08A,输出峰值波长为 807nm。通过对镀膜前后的出光效率和阈值电流变化分析,HR 膜和 AR 膜与设计结果一致。从镀膜后器件输出峰值波长增加,可得出:与前面的镀膜工艺比较,该片号 AR 膜的反射率增加了,这进一步证实膜厚的时间监控法是精确的。

实验结果与膜系设计值保持良好的一致性说明了 ECR Plasma CVD 法镀制光学膜的膜厚时间监控是一种行之有效的方法。实验过程中,在保持微波源功率、磁场电流稳定的情况下,用质量流量计精确监控各种气体的流量大小,实现了淀积的介质膜折射率和淀积速率恒定,淀积膜的厚度随时间线性增加,从而用时间监控光学膜有很高的精度。我们也通过大量的 ECR Plasma CVD 法淀积单层介质膜的实验发现:淀积各种膜的折射率差异在 ± 0.01 以下,如 SiO_2 的折射率为 1.503 ± 0.002 (630nm); 另外, SiO_2 和 a:Si 的淀积速率为 $0.34 \pm 0.01\text{nm/s}$ 和 $0.22 \pm 0.01\text{nm/s}$,由此可见:ECR Plasma CVD 法淀积介质膜的重复性也是很好的。

电子扫描显微镜测量结果显示:用 ECR Plasma CVD 法淀积的介质光学膜几乎无针孔,致密性很好。同时,对 ECR Plasma CVD 法和 PECVD 法淀积同样厚度的 SiO_2/N_y 的致密性,进行对比实验,发现用 HF 酸缓冲液腐蚀时,PECVD 法淀积 SiO_2/N_y 的腐蚀速率快 2 倍,由此说明:ECR Plasma CVD 法淀积的膜致密性比 PECVD 法要好。经端面镀高反膜和增透膜后的 808nm 大功率半导体激光器老化处理结果表明,合格率几乎达到 100%。

ECR Plasma CVD 法淀积介质光学膜过程是一种低温淀积过程,衬底温度一般在 100 以下,最高时也不超过 140,这充分保证了在高温下容易分解的 InP、GaAs 等半导体材料构成的器件在 ECR Plasma CVD 法淀积介质膜的过程中保持原有的结构和性质不变。

我们这里应用的是 SiO_2 和 a:Si 膜,对于其它介质膜,如 SiO_2/N_y 、 SiN_x 膜,可以改变反应气体成分和流量配比用 ECR Plasma CVD 法实现,它们的折射率变化范围是 1.50~3.10。由此可见,ECR Plasma CVD 法淀积介质膜的技术克服了 E-B 法膜料选择的局限性,为实现各种要求的光学膜提供了大量的可供选择的膜料,减少了某些特殊光学膜的镀制难度。

808nm 大功率半导体激光器未镀膜的解理面为 AlGaInAs 材料,镀膜前在空气中解理后容易形成较薄的端面氧化层,而且还有碳等的沾污,这些沾污破坏了器件和衬底的表面结构,严重影响器件的许多特性,诸如降低器件的使用寿命,减少光学膜在器件端面淀积时的附着力、淀积在端面的光学膜“起泡”等等。解决它们的办法是:在器件端面淀积光学膜之前,用电子回旋共振 H_2/He 的等离子体对器件端面进行 20~30min 去碳、氧等的清洁处理。Auger 分析仪的成分检测结果和器件镀膜后的特性显示,这种处理是非常有效的。

ECR Plasma CVD 法淀积介质膜的技术的不足之处主要表现在:淀积时,设备的膜厚均匀区面积为几英寸,大面积镀光学膜受到一定限制,然而,对于镀制微电子器件端面光学膜,

其生产量还是相当可观的

4 结论

ECR Plasma CVD 法定积的 808nm 大功率半导体激光器端面光学膜有很好的致密性,膜的质量好. 其淀积工艺可控性强, 控制方法简单、实用, 控制介质膜的折射率和膜厚的精度都很高, 而且淀积光学膜的衬底温度较低, 容易通过改变反应气体的成分和气流大小实现满足要求的膜料, 为此, 它是淀积 808nm 大功率半导体激光器端面光学膜的一种理想方法

参 考 文 献

- [1] 林永昌, 卢维强编著, 光学薄膜原理, 北京: 国防工业出版社, 1990, 364~ 366
- [2] Steven Dzioba and R. Rousina, J. Vac Sci Technol, 1994, **B12**(1), 433~ 440
- [3] Y. Manabe and T. Mitsuju, J. Appl Phys, 1989, **66**(4), 2475~ 2480
- [4] Jinho Ahn, Appl Phys Lett, 1994, **64**(24), 3249~ 3251
- [5] Takashi Inukai, Jpn J. Appl Phys, 1994, **33**(5A), 2593~ 2598
- [6] A. R. Shimkunas, J. Vac Sci Technol, 1991, **B9**(6), 3258~ 3261
- [7] 谭满清, 等, ECR Plasma CVD 法定积全介质光学膜的研究, 1997 年砷化镓及有关化合物会议论文集, 1997 年, 310 ~ 312

Optical Thin Film Deposition by Electron Cyclotron Resonance Plasma Chemical Vapor Deposition for 808nm High-Power Semiconductor Laser Devices

Tan Manqing, Mao Dongsheng

*National Engineering Research Center of Optoelectronic Devices, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*

Received 13 April 1998, revised manuscript received 24 July 1998

Abstract The paper introduces the technology of optical thin film deposition by electron cyclotron resonance Plasma chemical vapor deposition (ECR Plasma CVD) for 808nm high-power semiconductor laser devices, researches the control method of film thickness, and finally discusses technical factors and advantages of ECR Plasma CVD.

PACC: 5250, 6855, 8115H, 4255P, 4260, 4278H, 4280, 7865