

ECR Plasma CVD 法定积介质膜技术在 半导体光电器件中的应用

茅冬生 谭满清

(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 电子回旋共振等离子体化学气相淀积 (ECR Plasma CVD) 法定积介质膜技术是制备性能优良的光电子器件光学膜和电介质膜的重要手段之一。本文报道了 ECR Plasma CVD 法定积介质膜的工艺以及介质膜的特性等

EEACC: 7125, 7640, 6855, 8115H, 8160, 7755, 8115J

1 引言

介质薄膜在半导体光电器件制备中起着非常重要的作用^[1~5]。常用的介质膜有 SiO_2 、 SiO_xN_y 、 Si_3N_4 、 a-Si 、 Al_2O_3 等。近两年来,我们在引进的 ECR Plasma CVD 设备上开展了淀积介质膜技术的研究,并取得一些有实用价值的成果,已经在高技术光电器件的研究开发中起着重要的作用。以下报道我们在 ECR Plasma CVD 法定积介质膜技术方面的一些研究工作。

2 实验

我们在 InP、Si GaAs 等衬底上成功地淀积了 SiO_2 、 SiO_xN_y 、 Si_3N_4 、 a-Si 、 SiO_x 、 SN_x 等介质膜。例如,淀积折射率为 1.483 的 SiO_2 膜,使用 SiH_4 、 O_2 、 N_2 等气体,微波功率为 300W, SiH_4 和 O_2 气体流量配比为 $Q(\text{SiH}_4) : Q(\text{O}_2) = 1 : 2$; 淀积折射率为 1.810 的 SiO_xN_y 膜,使用 SiH_4 、 O_2 、 N_2 等气体,微波功率为 300W, $Q(\text{SiH}_4) : Q(\text{N}_2) = 9 : 4$; 淀积折射率为 1.966 的 Si_3N_4 膜,使用 SiH_4 、 N_2 , 微波功率为 300W, $Q(\text{SiH}_4) : Q(\text{N}_2) = 3 : 4$; 淀积折射率为 2.867 的 SiO_x 膜,使用 SiH_4 、 O_2 、Ar, 微波功率为 300W, $Q(\text{SiH}_4) : Q(\text{O}_2) = 3 : 1$; 淀积 a-Si 膜,使用 SiH_4 和 Ar 气, $Q(\text{SiH}_4) : Q(\text{Ar}) = 1 : 1$ 。在淀积 SiO_xN_y 、 SiO_x 和 SN_x 膜时,如果改变 SiH_4 与 O_2 或 SiH_4 与 N_2 气体流量配比,其介质膜的折射率都将有相应的变化,如图 1~3 所示。

为获得光学厚度精确的光学膜,对膜的几何厚度和折射率的精确控制是两个关键因素。为精确监控其几何厚度,我们采用了高精度石英晶体振荡膜厚监控仪(淀积速率的监控精度

茅冬生 男,1940 年出生,高级工程师,从事光电子器件工艺的研究

谭满清 男,1967 年出生,博士后,从事光学薄膜和光电子器件工艺的研究

1998-03-04 收到,1998-05-26 定稿

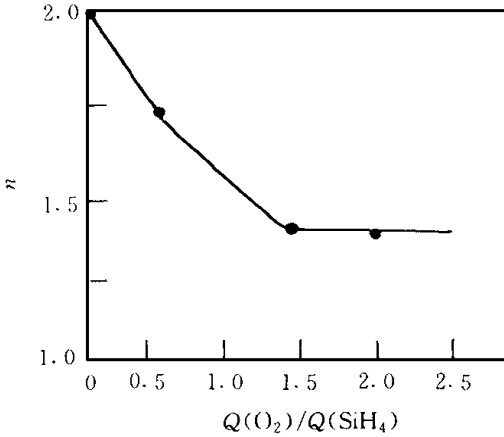


图 1 SiO_xN_y 膜折射率随 O_2 和 SiH_4 气流配比变化的关系

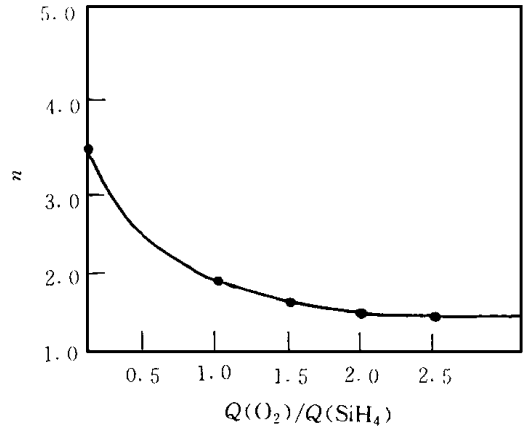


图 2 SiO_x 膜折射率随 O_2 和 SiH_4 气流配比变化的关系

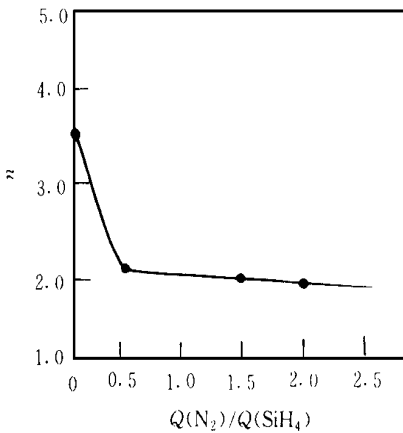


图 3 SiN_x 膜折射率随 N_2 和 SiH_4 气流配比变化的关系

为 $0.01nm/s$ 。经过多次淀积 SiO_2 膜实验,用椭偏仪测量结果如下; $21.0nm/50s$, $44.0nm/100s$, $65.5nm/150s$, $86.6nm/200s$ 其实际淀积速率偏差在 $\pm 0.01nm/s$ 以内 实验结果显示,该方法淀积的介质膜,均有其各自稳定的淀积速率

为保证获得折射率的极好重复性,我们对 12 项主要工艺因素进行了严格控制,其中包括:各种气体的纯度、流量配比、本底真空度、最佳的微波功率匹配、等离子体对衬底表面的预处理、定期监控膜的几何厚度和折射率等等 从而实现了几何厚度 $\pm 5\%$ 的均匀性(直径为 $5.08cm$ 的区域内)。

我们已成功地用 ECR Plasma CVD 法定积了适用于 $650nm$ 、 $670nm$ 、 $808nm$ 、 $980nm$ 、 $1310nm$ 和 $1550nm$ 等激光器两端面的介质光学膜 下面仅以 $980nm$ 大功率

半导体激光器端面镀膜为例报道我们的研究工作 HR 膜选用 $SiO_2(L)$ 和 $SiO_x(H)$ 材料,其折射率分别为 $n_L = 1.483$, $n_H = 2.867$,膜系结构为 $Sub/(LH)^3/Air$ 微波功率为 $300W$, 镀 SiO_2 膜的气体流量比为 $Q(SiH_4) : Q(O_2) = 1 : 2$, 镀 SiO_x 膜的气体流量比为 $Q(SiH_4) : Q(O_2) = 3 : 1$, 每层膜的光学厚度为 $245nm$ 。

对于反射率很小的半导体激光器件增透膜,我们采用 ABA 的非 $\lambda/4$ 结构,A、B 分别用 $SiO_2(n_L = 1.483)$ 和 $Si_3N_4(n_H = 1.966)$,其光学厚度比为 $1 : 3 : 1$,总光学厚度为 $245nm$,等效折射率为 1.850 淀积 Si_3N_4 的微波功率为 $300W$, $Q(SiH_4) : Q(N_2) = 3 : 4$,淀积 SiO_2 膜的条件同上所述

用以上方法制备条宽为 $3\mu m$ 的 $980nm$ 大功率激光器增透膜和高反膜后,其测量结果表明:出光效率为 $0.9W/A$, 阈值电流为 $23mA$ 。该激光器未镀端面膜时的出光效率为 $0.45W/A$, 阈值电流为 $20mA$ 。

3 结论和分析

对某些淀积膜的连续测量结果表明: ECR Plasma CVD 法淀积介质膜的速率保持恒定, 例如淀积 SiO_2 膜的厚度随时间线性增加, 淀积速率为 0.43nm/s 。不同的膜有其各自恒定的淀积速率, 这就为我们在需要大批量镀膜等场合采用时间监控膜厚提供了有力保证。对于要求膜厚监控精度极高的光学膜, 例如制备超辐射发光管, 我们可以采用石英晶体膜厚监控仪控制膜厚。

该方法可以很方便地通过改变气流配比来实现不同折射率的介质膜。图 1~3 分别为 SiO_xN_y 、 SiO_x 、 SiN_x 的折射率 ($\lambda=633\text{nm}$) 随相应气流配比的变化曲线。这些测量结果表明: SiO_xN_y 折射率变化范围为 $1.48\sim 1.95$, SiO_x 折射率变化范围为 $1.48\sim 3.50$, SiN_x 为 $1.95\sim 3.50$ 。ECR Plasma CVD 法淀积介质膜技术为制备各种特定的光学膜提供了大量可供选择的、不同折射率材料。

在保持各种工艺状态稳定的前提下, 介质膜折射率的重复性偏差一般小于 0.005 , 这为提高产品成品率提供了可靠保证。

按光电子器件国家工程研究中心生产的产品标准进行长时间高温老化试验结果证实了介质膜的折射率保持不变, 光学性能稳定。

对采用该方法和 PECVD 方法淀积的膜厚和折射率相近的 SiO_xN_y 膜的致密性进行了对比实验。对这两种膜均用相同条件的 HF 酸缓冲液进行腐蚀速率试验。结果表明: PECVD 法镀制的膜被腐蚀的速率要快两倍。我们用这种致密性很好的介质膜制备出性能良好的超辐射增透膜, 以及漏电流在 10pA 数量级的扩散掩蔽膜等。

致谢 本文的工作得到陈良惠研究员、李玉璋研究员的关心和帮助, 在该工作的初期阶段, Steven Dzioba (Bell-Northern Research Ltd.) 博士与我们进行了有益的讨论, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Steven Dzioba and R. Rousina, J. Vac. Sci. Technol., 1994, **B12**(1): 433~440.
- [2] Y. Manabe and T. Mitsuyu, J. Appl. Phys., 1989, **66**(4): 2475~2480.
- [3] Jinho Ahn, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**(24): 3249~3251.
- [4] Takashi Inukai, Jpn. J. Appl. Phys., 1994, **33**(5A): 2593~2598.
- [5] A. R. Shimkunas, J. Vac. Sci. Technol., 1991, **B9**(6): 3258~3261.

D ielectric Thin Film Deposition by ECR Plasma CVD for Sem iconductor Optoelectronic Devices

M ao Dongsheng, T an M anqing

*(N ational Eng ineering Research Center of Op toelectronic Devices,
Institute of Sem iconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

Received 4M arch 1998, revised manuscript received 26M ay 1998

Abstract The technology of depositing dielectric thin films by electron cyclotron resonance plasma chemical vapor deposition (ECR Plasma CVD) is one of the important methods for depositing optical coatings and dielectric thin films of optoelectronic devices. The paper reports the excellent properties and technology of the dielectric thin films deposited by ECR plasma CVD.

EEACC: 7125, 7640, 6855, 8115H, 8160, 7755, 8115J