

文章编号: 1672-8785(2006)06-0025-04

氢化非晶硅薄膜的性能研究

叶 林, 刘卫国

(西安工业学院光电微系统研究所, 西安 710032)

摘 要: 本文研究了 PECVD 系统沉积薄膜及其特性。通过椭偏仪测出了薄膜的膜厚, 采用电子薄膜应力分布测试仪分析了薄膜应力, 并运用四探针装置研究了电阻率、方阻、TCR 及它们之间的相互关系。结果表明, 所沉积的薄膜覆形特性好、沉积速度快, 沉积速率达到了 31.89nm/min, 另外, 它还具有低应力、高 TCR 的特点; 当薄膜电阻率处在一定的范围内时, 通过数据分析, 电阻率与 TCR 之间几乎成线性关系。

关键词: PECVD; α -Si:H; 工艺参数; 应力; TCR

中图分类号: O484.4 **文献标识码:** A

Properties of Films by PECVD Deposition

YE Lin, LIU Wei-guo

(Micro-optic-electronics Systems Laboratory, Xi'an Institute of Technology, Xi'an 710032, China)

Abstract: The properties of the films by PECVD deposition have been studied. The thickness of the film was measured by a spectroscopic ellipsometer. The film stress was analyzed by a stress distribution test instrument. The resistivity, square resistance, TCR and the relation among them were investigated by a four-probe instrument. It has been found that the film by PECVD deposition is symmetrical and its deposition rate is up to 31.89nm/min. The film has low stress and high TCR. Through data analysis, it is concluded that the relation between the resistivity and TCR of the film is nearly linear in a given resistivity range.

Key words: PECVD; α -Si:H; processing parameter; stress; TCR

1 引言

氢化非晶硅 (α -Si:H) 是当前非晶半导体材料和器件的研究重点和核心。由于 α -Si:H 薄膜十分独特的物理性能和在制作工艺方面的加工优点^[1-3], 它可用作大面积、高效率太阳能电池材料, 大屏幕液晶显示和平面显像电视机, 以及用于制作 α -Si 传感器和摄像管、非晶电致发光器件等。由于 α -Si 有很大的应用前景和极为丰富的物理现象, 因而已受到科技界和工业界的高度重视。大量事实说明, 通过研究非晶半导体, 不仅能够产生新材料、新器件和新工艺, 而

且能够使人们进一步认识固体理论中的许多基本问题。

2 实验方法与测试

2.1 实验方法

等离子增强化学气相沉积 (PECVD) 是一种化学沉积 α -Si 的方法, 它以辉光放电实现反应气体电离, 气体在外界电磁场的激励下放电而形成等离子体。等离子体是物质的一种电离状态, 它包含相等数量的正电粒子 (离子) 与负电粒子 (电子)。电子被外电场加速, 等离子体中受到电场加速的电子和中性分子或原子碰撞生成

收稿日期: 2005-11-28

作者简介: 叶林 (1981—), 男, 安徽人, 硕士, 研究方向为红外探测器光学材料。

激发状态的分子和原子以及游离态和离子等新粒子。这些生成物的化学性质都很活泼，它们之间通过相互反应可形成薄膜。由于反应能量是由电场通过电子供给的，所以能在较低的温度下进行薄膜沉积。源输运时流体的分配方式可以分为直流、射频、微波及多频等离子体过程。典型的系统如图 1 所示^[4]。此系统为逆径向流反应室结构，采用二级射频等离子体发生装置，上电极兼气流分配器，下电极放置衬底兼加热。还可以引入一个低频(45kHz)偏置，提供额外的粒子轰击，以改善薄膜的结构与性质。

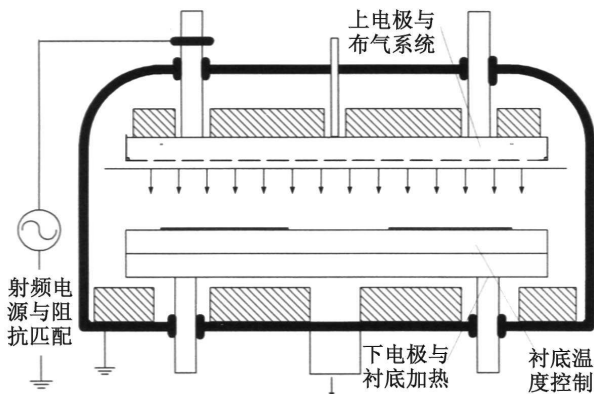


图 1 PECVD 反应室示意图

影响沉积薄膜性质的参数^[1,3,5,6]以及最佳参数对不同方法甚至同一种方法的不同系统均有差异，但是仍然有一些共同的趋势可以遵循。主要的参数包括源气体、等离子体功率密度、衬底温度、沉积室气压、馈气浓度与流速以及磁场等。沉积时需要综合考虑这些因素。沉积可以用纯的或者氢稀释的硅烷或者乙硅烷进行。使用不同的源气体时，沉积参数的影响略有不同。

本试验采用日本 SAMCO 公司的 PD-220L 镀膜机进行。硅烷为源气体，基片是氧化的硅片，直径为 2in。 α -Si 膜层的制备过程^[1]为：源气体 SiH_4 (Ar) 扩散，通过喷头均匀送入反应室；在电场作用下，电子加速与气体分子碰撞，产生离子化及中性基团 (SiH 、 SiH_3 、 Si_2H_2 等)，这些基团在运行中又发生多种形式的二次反应，反应物与衬底发生反应或吸附在衬底表面，其中一部分便形成薄膜。实验的条件如表 1 所示。

2.2 薄膜的测试

采用 M-2000TM 椭偏仪测定薄膜的厚度，采用北仪的电子薄膜应力分布仪测量应力，并采用七星华创四探针测试仪测试电导率和方块电阻，从而间接算出电阻温度系数 (TCR)。

表 1 α -Si:H 薄膜的沉积条件

| 参数 | 温度 (°C) | 压强 (Pa) | 流速 (sccm) | 功率 (W) | 源气体浓度 |
|----|---------|---------|-----------|--------|----------------------------|
| 数据 | 250 | 67 | 160 | 80 | 10% SiH_4 (Ar 稀释) |

3 结果与讨论

3.1 非晶硅薄膜的力学性能分析

3.1.1 膜厚的测试

厚度是重要的薄膜参数，几乎所有的薄膜性质都与厚度有关。一般情况下，膜厚可用椭偏仪来测试。考虑到膜厚 200nm 是研究探测器的理想厚度，所以在实验中我们沉积了厚度为 200nm 的膜。用椭偏仪在不同位置测了五次。实验结果如表 2 所示。得出的结果充分说明了 PD-220 镀膜机所镀的膜均匀性较好。通过建模， α -Si:H 膜厚在波长为 600nm ~ 900nm 条件下的拟合结果如图 2 所示，效果较好。

表 2 非晶硅的膜厚

| 序号 | 测试位置 | 厚度 (nm) |
|----|------|---------|
| 1 | 片中 | 195.5 |
| 2 | 片左 | 198.4 |
| 3 | 片右 | 196.3 |
| 4 | 片上 | 191.4 |
| 5 | 片下 | 198.9 |
| 6 | 平均 | 196.1 |

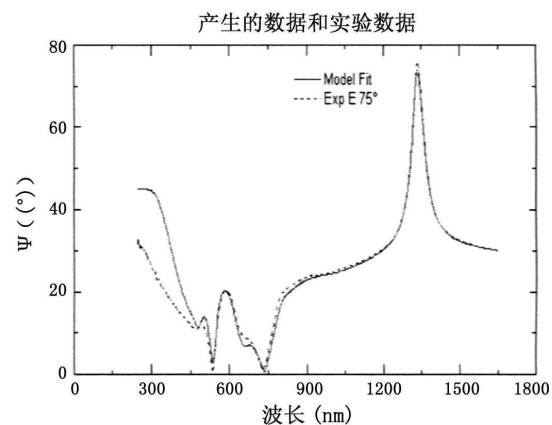


图 2 膜厚测量拟合图

3.1.2 应力的测试

薄膜的应力^[7], 无论是压应力还是张应力^[8], 均会对悬空结构与衬底的接触点产生剪切力, 严重时会造成接触失效。通常, 由于硅衬底具有高热膨胀系数, 小的张应力有利于悬空结构的平整, 所以在大多数情况下, 当应力无法完全消除时, 在设计时有意保留残余张应力较为有利。本实验采用了电子薄膜应力分布测试仪, 该测试仪是利用光学折反射原理进行测试的。在薄膜沉积之前, 对硅片进行应力测试, 测试的数据保存。等沉积完膜后, 用应力测试仪再进行测试。这时, 以硅片的应力数据为基准, 就可以得出薄膜应力的数据。本实验的非晶硅膜的应力为 23.1MPa, 这和我们实验要求的数据吻合。

3.2 非晶硅薄膜的电学性质分析

本实验主要测试 α -Si:H 薄膜的电阻率、方阻、TCR 电学性能参数。TCR^[9] 是非晶硅薄膜的一个重要性质参数, TCR 是表示温度每改变 1 °C 时电阻值的相对变化量。四探针是分析 α -Si:H 薄膜电学性质的一种有效途径。常规直线四探针测试法^[10] 的示意图如图 3 所示^[11], 将位于同一直线上的四个探针置于一平坦的样品 (其尺寸相对于四探针, 可视为无穷大) 上, 并施加直流电流 (I) 于外侧的两个探针上, 然后在中间两个探针上用高精度数字电压表测量电压 (V_{23}), 检测位置的电阻率 $\rho(\Omega \cdot \text{cm})$ 为

$$\rho = C \frac{V_{23}}{I} \quad (1)$$

式中,

$$C = 2\pi \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_1 + S_2} - \frac{1}{S_2 + S_3} + \frac{1}{S_3} \right)^{-1} \quad (2)$$

为四探针的探针系数 (cm), S_1 、 S_2 、 S_3 分别为 1、2, 2、3 和 3、4 探针之间的距离。

图 4 所示为四探针电器原理框, 测量时通过 DC-DC 变换器将直流电转换成高频电流, 然后整流输入给高精度恒流源, 恒定电流输出送到探针 1、4 上, 再由一个高输入阻抗和高灵敏度的放大器将两针间的电位差放大, 放大结果通过 A/D 转换, 送入工控机, 经计算后显示出来。

通过四探针可直接测出方阻、电阻率和电阻。表 3 列出了在本实验条件下沉积出来的薄膜

在常温下的电学性能结果。

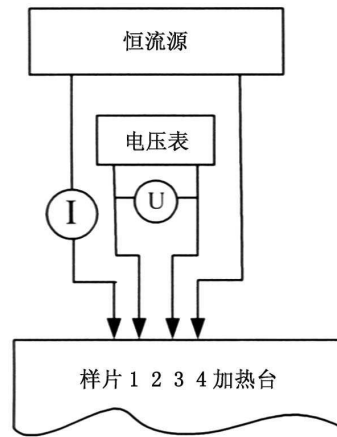


图 3 四探针测试示意图

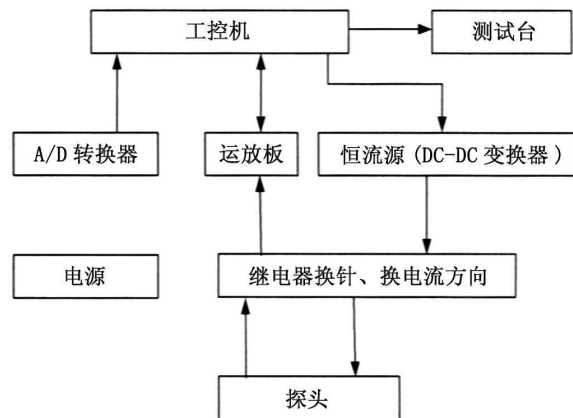


图 4 四探针原理框图

表 3 薄膜电学性能的测试结果

| 方阻 (K Ω) | 电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$) | 电阻 (Ω) |
|------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1.0174 | 251.82 | 225.01 |

而 TCR 是间接测出来的, TCR 可以用下式表示^[12]:

$$\alpha = \frac{\Delta R}{\Delta T \times R_0} \quad (3)$$

式中, α 为电阻温度系数 TCR, R_0 为测量时的参考电阻值, 通常为室温条件下的测量值。

$$\Delta R = R_T - R_0 \quad (4)$$

式中, R_T 为温度。

$$\Delta T = T - T_0 \quad (5)$$

式中, T 为测量时的温度, T_0 通常为室温。

通过 PE94 加热装置来调节薄膜的温度。当设定温度变化范围为 26 °C ~ 56 °C 时, 测出的方

表 4 α -Si:H 薄膜 TCR 的测试

| 温度 (°C) | 26 | 31 | 36 | 41 | 46 | 51 | 56 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 方阻 (K Ω) | 1.0174 | 1.1866 | 1.4258 | 1.5776 | 1.6905 | 1.7734 | 1.9293 |
| 电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$) | 251.82 | 278.66 | 290.29 | 309.12 | 332.63 | 346.02 | 389.36 |
| TCR(%/K) | 2.925 | 2.932 | 2.941 | 2.950 | 2.961 | 2.972 | 2.988 |

阻、电阻率值如表 4 所示。

电阻率与 TCR 之间的关系如图 5 所示, TCR 与电阻率之间几乎呈线性关系, 这是我们期望的现象。在一般条件下, 伴随着高电阻率, $1/f$ 噪声明显增大, 使高 TCR 的作用抵消。本实验所测出的结果则不同, 在一定范围内, 电阻率与 TCR 呈线性关系, 高电阻率不影响高 TCR, 这也符合 Tissot^[13] 关于电阻率与 TCR 之间的关系的结论。

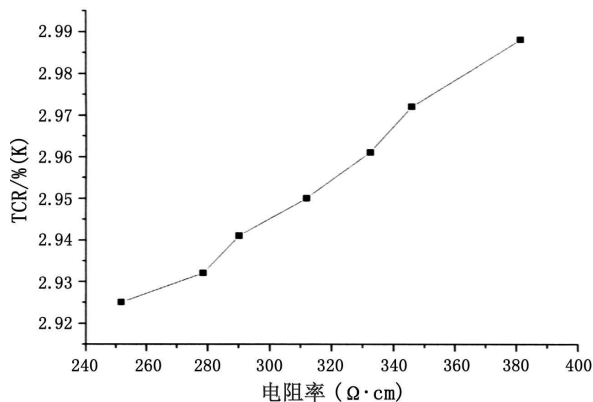


图 5 薄膜电阻率与 TCR 的关系

4 结论

用 PECVD 沉积的非晶硅的应力较小, 而且是张应力, 这有利于探测器的后期设计。通过测定非晶硅的光学性能, 发现非晶硅具有高电阻率、高 TCR 的特点。非晶硅的高电阻率在使用直流偏置的条件下不会导致过热, 从而可简化偏置电路; 高 TCR 则代表着电阻对温度变化敏感, 这对于制造红外热成像器件是非常重要的。实验结果表明, 当电阻率在一定的范围内时, TCR 与电阻率几乎成线性关系。

参考文献

- [1] 刘卫国, 金娜. 集成非制冷红外热成像探测阵列 [M]. 国防工业出版社 (北京), 2004.6.
- [2] Street R A. Hydrogenated amorphous silicon [M]. Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- [3] Luft W, Tsuo Y S. Hydrogenated amorphous silicon alloy deposition process [M]. Marcel Dekker, New York, 1993.
- [4] Vossen J L, Kern W. Thin Film Processes [M]. Academic Press, New York, 1991.
- [5] 田民波, 等. 薄膜科学与技术手册 (上册) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991: 528-533.
- [6] Ross, R C, J Jaklik. Plasma Polymerization and Deposition of Amorphous Hydrogenated Silicon from rf and dc Silane Plasma [J]. J. Appl. Phys., Vol.55, 1984, pp.3785-3794.
- [7] 袁战恒, 张良莹, 姚熹. 不同频率下介电材料偏压温度特性测试 [J]. 压电与声光, 1999, 第 21 卷, 第 4 期: 318-322.
- [8] 鲁效明. 常规四探针和双位四探针法测量半导体薄片电阻率的比较与讨论 [J]. 计量技术, 1994, 第 4 期: 24-26.
- [9] 王静. 结合图像分析的四探针法测试系统研究 [D]. 河北工业大学: 孙以材, 2003.
- [10] 李言荣, 恽正中, 等. 电子材料导论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 90, 216.
- [11] Stevens K S, Johnson N M. Intrinsic stress in hydrogenated amorphous silicon deposited with a remote hydrogen plasma [J]. J. Appl. Phys., 71, 2638-2631, 1986.
- [12] M J Loboda, Springer Proceeding in Physics [C]. 71 (1992), 271.
- [13] Tissot J L, Rothan F, Vedel C. LETI/LIR's amorphous silicon uncooled IRFPADDDDE Development [C]. Proc. SPIE, 3379, 139-144, 1998.