

# 蓝宝石上硅膜(SOS)肖特基结注入电流检测的电子自旋共振及 Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面缺陷\*

傅济时 吴恩 秦国刚

北京大学物理系, 北京 100871

朱美栋

北京大学无线电系, 北京 100871

郁元桓

中国科学院半导体研究所, 北京 100083

(1993 年 2 月 13 日收到; 1993 年 5 月 10 日收到修改稿)

我们用高灵敏的肖特基结注入电流检测磁共振方法对蓝宝石上外延硅膜进行了研究。实验观察到一各向同性非对称的磁共振谱, 经拟合它由线宽  $10^{-3}$  T,  $g$  值分别为 2.0055 及 2.012 的二线组合而成, 二线强度比 3.7 : 1。前者是硅悬挂键, 后者为非晶硅价态尾态共振。实验证实该磁共振信号来自于 Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面。

PACC: 7320, 6855, 7670

## 1. 引言

传统的以单晶硅片为衬底在超大规模集成电路(VLSI)制造上已获得巨大成功, 但为了减少体硅材料的损耗、进一步提高器件的运行速度以及抗辐照能力, 人们对绝缘衬底上外延的硅膜(SOI)进行了研究; 蓝宝石上外延的硅膜(SOS)则是其中研究得较多且具商业价值的材料之一。但如果硅膜与蓝宝石晶格匹配不好, 硅膜与蓝宝石界面将有较多的缺陷。这样的硅膜不宜用于制造集成电路<sup>[1]</sup>。为改善 SOS 性能, 人们对 Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面作了许多研究; 通常 SOS 上制作的 MOS 器件的漏电流或其低频噪声特性与该界面缺陷态直接有关<sup>[2]</sup>, 测试器件的漏电流或噪声特性可以得到 Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面态的有关信息; 此外也可在蓝宝石背面蒸金属铝层构成所谓的 MIS 结构, 通过测量其 C-V 特性对该界面进行研究<sup>[3]</sup>。而注入电流检测磁共振方法是我们在 PIN 结构的 a-Si : H 太阳电池中采用注入电流检测磁共振的基础上发展的一种高灵敏的磁共振检测法<sup>[4]</sup>。从所测量的磁共振谱还可直接给出参入复合过程的有关电子态的信息<sup>[5-8]</sup>。本文在 SOS 上蒸发两条平行铝电极, 其间留有缝隙, 以形成两个背靠背的肖特基结, 我们利用注入电流检测磁共振技术成功地观察到了来自 Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面缺陷的自旋共振信号, 从而为 SOS 特性的研究提供了一种新的高灵敏的研究手段。

\* 国家自然科学基金资助项目。

## 2. 实验

实验中所用 SOS 样品为蓝宝石 [1 102] 衬底上外延生长的 0.19 μm 的硅膜 [100], 样品尺寸为 3mm × 8mm × 0.4mm, 其硅层电阻率约  $1 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ , 清洗后在硅膜表面蒸铝形成带有 0.1mm 宽的缝隙的两条平行铝电极, 铝电极面积为  $12 \text{mm}^2$ , 从而构成了两个背靠背的肖特基结(参图 1). 通过  $10 \text{M}\Omega$  的外接限流电阻向背靠背肖特基结注入适当电流 ( $3-5 \mu\text{A}$ ), 将样品置入 Bruker 200-D 型电子顺磁共振仪微波腔中. 样品上铝电极及狭

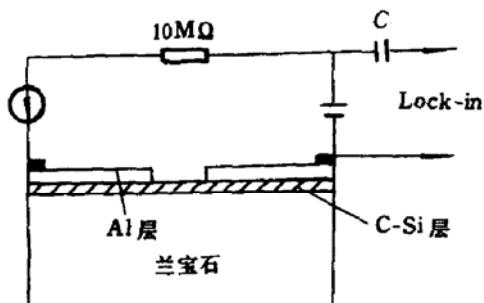


图 1 SOS 样品结构及激励原理图

缝垂直于直流磁场, 改变磁场使电子顺磁共振发生且增大微波功率使之饱和, 样品上的电压降将产生相应的变化, 从而高灵敏地检测到相应被饱和的电子自旋共振谱. 实验用微波功率  $200 \text{mW}$ , 相敏检波器时间常数  $10 \text{ms}$ , 扫场宽度  $5 \times 10^{-3} \text{T}$ , 扫场时间 10 秒, 调制幅度  $5 \times 10^{-4} \text{T}$ . 为提高检测灵敏度还可由计算机控制多次扫场作适当的相干累加.

## 3. 结果及讨论

室温下, 注入电流  $5 \mu\text{A}$  累加 60 次记录的注入电流检测的磁共振谱如图 2a 所示. 在  $2-5 \mu\text{A}$  范围信号大小基本与注入电流大小无关. 信号呈各向同性, 即绕垂直于恒定磁场方向旋转样品时, 谱的形状、位置不变, 改变注入电流的方向信号也不变. 通过计算机模拟, 知该谱由  $g = 2.0055$  及  $g = 2.012$  线宽约  $10^{-3} \text{T}$  的两条谱线迭加而成, 两条谱线的强度比为 3.7 : 1(参图 2b).

为了分析所观察信号的来源, 分别将电阻率相近的弱 p 型及弱 n 型单晶硅材料, 切割成  $3 \text{mm} \times 8 \text{mm}$ , 在同样条件下在其表面蒸铝形成类似的带有 0.1mm 缝宽的背靠背肖特基结, 同前述 SOS 样品相比差别仅在于不存在  $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$  界面, 在同样注入电流及实验条件下均未观察到任何电子自旋共振信号. 因此我们确认 SOS 样品的电子顺磁共振信号不是来自于  $\text{SiO}_2$  与铝的界面, 也不是来自于  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  界面, 只能来源于  $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$  界面.  $g = 2.0055$  及  $g = 2.012$  的共振很可能分别来自于该界面 Si 悬挂键及非晶硅价带的带尾态<sup>[8]</sup>. 如在蓝宝石上外延生长硅膜时适当改变工艺条件或采取一定措施减小该界面缺陷则就可获得性能更为优异的 SOS 材料.

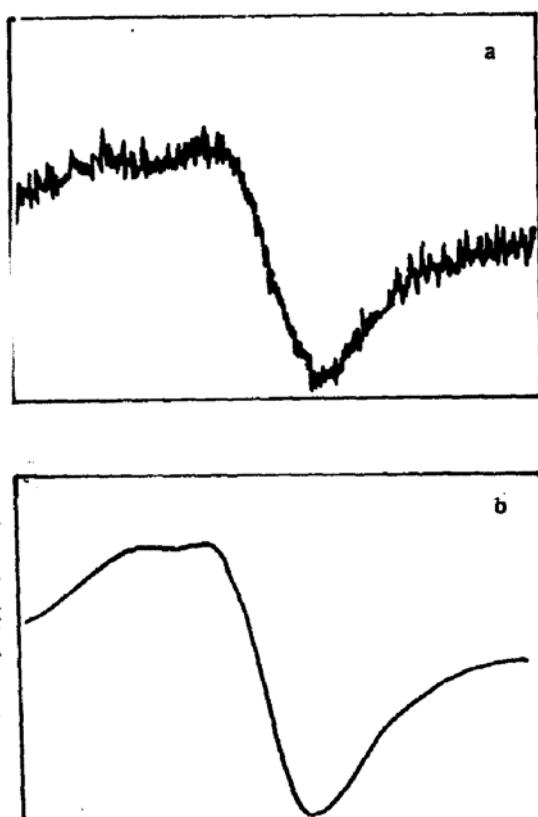


图 2 注入电流检测的 SOS 样品的磁共振谱

a 实验记录谱. 测试条件

$$P=200 \text{mW}, m_F=100 \text{kHz}$$

$$MA=5 \times 10^{-4} \text{T} \quad ST=5 \times 10^{-4} \text{T/s}$$

$$SW=5 \times 10^{-3} \text{T} \quad \tau=10 \text{ms} \quad N=60$$

b 由  $g = 2.0055$  及  $g = 2.012$  强度比

$$3.7 : 1, \text{线宽 } 10^{-3} \text{T} \text{ 的迭加拟合谱}$$

总之,我们利用高灵敏的注入电流检测磁共振技术,首次成功地研究了 SOS Si/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  的界面缺陷态;结果表明该缺陷态可能由 Si 悬键及非晶硅价态尾态组成,其强度比  $3.7 : 1$ , 线宽约  $10^{-3}\text{T}$ ,  $g$  值分别为 2.0055 及 2.012. 实验证明对参入载流子复合过程与自旋有关的顺磁性电子态, 电检测磁共振具有很高的灵敏度, 可广泛应用于薄膜材料或表面以及界面缺陷态的研究.

### 参 考 文 献

- [1] S. Cristoloveanu, *Rep. Prog. Phys.*, **50**, 327(1987).
- [2] P. Gentil, *Rev. Phys. Appl.*, **13**, 609(1978).
- P. Gentil, S. Chausse, *Solid State Electron.*, **20**, 935(1977).
- [3] A. M. Goodman, *IEEE Trans. Electron. Dev.*, **ED-22**, 63(1975).
- [4] 傅济时等, 待发表.
- [5] D. lepine, *Phys. Rev.*, **B6**, 436(1972).
- [6] I. Solomon, et al., *Solid state Commun.*, **22**, 505(1977).
- [7] R. A. Street, *Phil. Mag.*, **B46**, 273(1982).
- [8] H. Deirsch, L. Schweitzer and J. Stuke, *Phys. Rev.*, **28**, 4678(1983).

## ESR of Silicon Film on Sapphire Detected by Injected Current and the Defects on the Si/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ Interface

Fu Jishi, Wu En and Qin Guogang

*Dept. of Physics, Peking University, Beijing, 100871*

Zhu Meidong

*Dept. of Radioelectronics, Peking University, Beijing 100871*

Yu Yuanhuan

*Institute of Semiconductors, Academic Sinica, Beijing 100083*

(Received 13 February 1993; revised manuscript received 10 May 1993)

### Abstract

The investigation of silicon film on sapphire was performed using the magnetic resonance detected by injected current through the Schottky junction. An isotropic and asymmetric spectrum was observed. By simulation the spectrum consists of two lines with the line width about  $10^{-3}\text{T}$ . The  $g$  value is 2.0055 and 2.012 respectively, and the intensity ratio is  $3.7 : 1$ . The experiments show that the spectra come from defects on Si/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  interface. Maybe the line of  $g=2.0055$  comes from Si dangling bond and another one comes from the valence-band-tail state of amorphous silicon.

PACC: 7320, 6855, 7670