

AlN/GaAs 界面的 AES 和 XPS 研究

曹 昕 罗晋生

(西安交通大学微电子所 西安 710049)

陈堂胜 陈克金

(南京电子器件研究所 南京 210016)

摘要 在室温下用直流磁控反应溅射的方法制备了 AlN 薄膜,用 AES 方法和 XPS 方法分析了 AlN 膜和 AlN/GaAs 界面。在 AlN/GaAs 界面发现了 O—Al 键,没有发现 O—Ga 键或 O—As 键。本文通过实验证明,AlN/GaAs 界面的 O 元素在 AlN 淀积过程中从 GaAs 表面转移到 AlN 膜中。这与通过 PECVD 方法淀积 AlN 薄膜形成的 AlN/GaAs 界面完全不同。由于 AlN/GaAs 界面的 O 元素是与 Al 结合的,因此有较好的界面特性。这是直流磁控反应溅射方法制备的 AlN 薄膜适用于 GaAs 器件钝化的主要原因。

PACC: 6855

1 引言

与有较好钝化性能的 SiO_2/Si 界面不同,由于 GaAs 的自体氧化物不稳定,自体氧化物/GaAs 界面的界面态往往很高。为了提高 GaAs 器件的性能和可靠性,多年来人们不断在寻找适合于 GaAs 的钝化膜。目前常用的 Si_3N_4 薄膜虽然在 GaAs MESFET 器件的钝化上取得了一定程度的成功,但仍然存在可靠性问题,如热电子效应 (hot electron effect)^[1]、栅延迟效应 (gate lag effect)^[2] 等。AlN 薄膜由于其优良的性能,如化学性质稳定、有较高的热导率、热膨胀系数与 GaAs 匹配等,被认为是一种很有前途的 GaAs 钝化材料^[3]。最近,直流磁控反应溅射方法制备的 AlN 薄膜应用于 GaAs MESFET 的钝化,取得了较好的钝化效果^[4]。本文通过 AES (Auger Electron Spectroscopy) 和 XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) 方法分析了 AlN/GaAs 界面,发现界面的 O 元素与 Al 结合而未与 Ga、As 结合。这正是用 AlN 钝化的 GaAs MESFET 有较好的性能的原因。

曹 昕 男,1972 年出生,博士生

罗晋生 男,1950 年毕业于交通大学物理系,现为西安交大教授,中国电子学会会士,研究领域为 III-V 化合物半导体及器件、新型功率半导体器件、离子注入技术及椭圆偏光技术

陈堂胜 男,1964 年出生,高级工程师,从事 GaAs 微波器件及 MMIC 研究

1998-02-27 收到,1998-04-13 定稿

2 实验

实验采用LEYBOLD-HERAUS公司的Z550SM磁控溅射台,靶材为高纯铝

表 1 AlN 薄膜淀积条件

靶材	高纯铝(99.99%)
靶预溅时间/h	3
直流功率/W	400
Ar 流量/sccm	2.5
N ₂ 流量/sccm	2.0
反应气压/Pa	0.4
反应温度	室温
膜厚/nm	80~150

(99.99%),在氮、氩气氛中反应溅射淀积AlN薄膜。所用衬底是(100)面的半绝缘GaAs单晶片。GaAs衬底经丙酮、乙醇清洗后用H₂SO₄:H₂O₂:H₂O=4:1:1的溶液在室温下腐蚀3min,去除表面损伤层。然后用NH₄OH:H₂O为1:1的溶液漂洗1min,去除表面氧化层,接着用N₂气吹干。样品b在淀积前浸入饱和的(NH₄)₂S_x溶液中处理5min,然后用乙醇冲洗,用N₂气吹干后送入反应室。样品a为对比样品,直接送入反应室。样

品的淀积条件见表1。AlN薄膜和AlN/GaAs界面在Φ公司的分析仪中同时进行AES和XPS分析。

3 结果及讨论

用AES溅射剥层分析得到的样品a的深度成分分布曲线见图1。图框上标有A、B、D...等的位置,表示在此深度同时进行了XPS分析。从图1可以看出,AlN膜中的O元素的含量很少。令人感兴趣的是,O元素的浓度分布峰值位置不在界面的中间,而是在界面的AlN一侧。这与PECVD方法淀积的AlN的界面特性完全不同(O元素的浓度分布峰在界面中央)^[5]。用AES溅射剥层分析得到的样品b的深度成分分布曲线见图2。样品b中O的含量也非常少。而且除样品表面外,O元素的浓度分布均匀,没有出现浓度分布峰。众所周知,通过(NH₄)₂S_x处理能除去GaAs表面的自体氧化物。因此,样品b的衬底在淀积前表面上没有O元素或只有少量的O元素。尽管样品a用NH₄OH溶液除去了氧化层,但在衬底被吹干和送入反应室的过程中,GaAs表面仍不可避免地被氧化。由此可见,样品界面处较高浓度的O只可能是由衬底带来的,而不是在淀积过程中获得的。

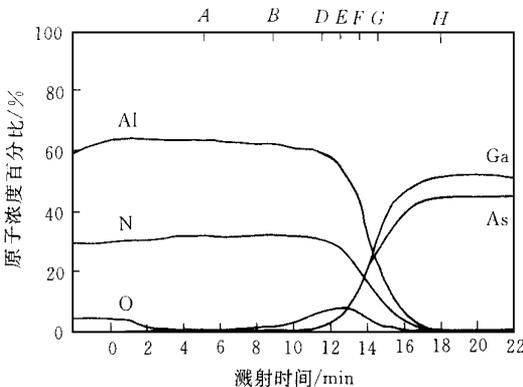


图 1 样品 a 的AES 深度成分分析曲线

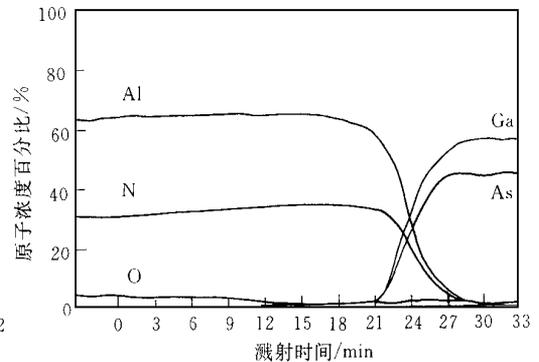


图 2 样品 b 的AES 深度成分分析曲线

图 3 是样品 a 不同深度处的 As(3d)、Ga(3d)和 Al(2p)的 XPS 能谱 进行 XPS 测量的位置已标记在图 1 中. 由 As(3d)、Ga(3d)的 XPS 能谱可见, 从 AlN/GaN 界面过渡区到 GaN 衬底的内部, Ga 和 As 峰的位置和形状都没有改变, 只是随着从界面进入 GaN 内, 由于 Ga、As 浓度提高, GaN 峰的强度也增大了. As(3d)、Ga(3d)的 XPS 能谱中没有发现 Ga、As 氧化物的峰

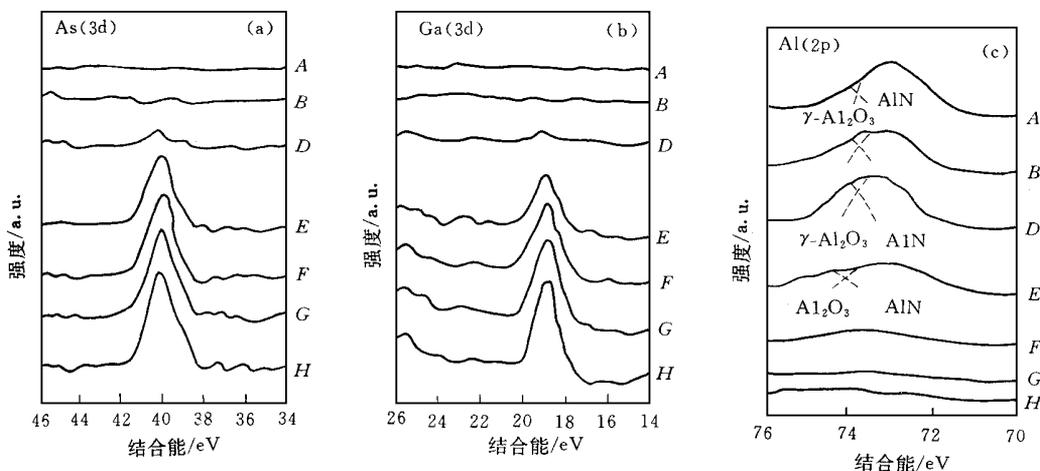


图 3 样品 a 不同深度处的 As(3d)、Ga(3d)、Al(2p)XPS 能谱

Al(2p)XPS 能谱的曲线 A 中有明显的 AlN 的峰, 能量为 73.2eV^[6]. 曲线 A 中还能看出 γ -Al₂O₃ 的峰来, 只是由于 O 含量少, 此峰较弱. 位置 D 是界面处 O 元素浓度最高的地方. 曲线 D 中能看出明显的 γ -Al₂O₃ 峰. 曲线 E 上有 Al₂O₃ 峰(74.7eV)和 AlN 峰. 由于位置 E 处于界面过渡区的 GaN 一侧, AlN、O 元素的含量都很少, 因此这两个峰都很弱. 总之, 从图 3 中 Al(2p)的 XPS 能谱可以看出, 界面过渡区存在 O—Al 键, 而且 O/Al 结合方式较为复杂. 为研究清楚 O/Al 的结合方式, 需要进行更灵敏的 XPS 微区分析.

综合 XPS 的分析结果, AlN/GaN 界面的 O 元素主要与 Al 结合, 而没与 Ga、As 结合. 从前面 AES 分析结果已知, 界面处的 O 元素是由衬底带来的. 因此可以判断, AlN/GaN 界面的 O 元素在 AlN 的淀积过程中由 GaN 表面转移到了 AlN 膜中. 界面的 O 元素主要与 Al 元素结合而没有与 Ga、As 结合, 这对 GaN 表面钝化非常有意义. GaN 的自体氧化物热稳定性差会自然分解, 使 GaN 表面产生很多缺陷, 从而造成大量界面态使得介质/GaN 界面特性变差, 进而影响 GaN 器件的性能和可靠性. 本研究中, AlN/GaN 界面的 O 元素被 Al 元素束缚住了. O—Al 键很强, 二者形成的化合物化学性质稳定. 因此如用直流磁控溅射制备的 AlN 对 GaN 进行钝化, 能减少 O 引起的界面缺陷, 从而减少了界面态. 更重要的是, 由于 O 元素与 Al 元素结合后性质稳定, 提高了钝化的长期可靠性. 作者认为, 这正是用 AlN 钝化 GaN MESFET 器件取得了较好的效果的主要原因.

在淀积过程中 O 元素从 GaN 表面转移到 AlN 膜中的机理还不是很清楚. 可能是由于 Al 较为活泼, 再加上 Ar_nN 等离子体的复杂影响, 使 Al 从 GaN 氧化物中将 O “夺”过来了. 其具体过程可能为: Ar_nN 等离子体的物理化学作用使衬底表面 GaN 氧化物分解, 分解后的 O 与被溅射的 Al 反应, 形成了 O—Al 化合物. 为了进一步研究清楚其反应机理, 需

用更灵敏的方法作深入分析

4 结论

用直流磁控反应溅射的方法制备了用于 GaAs 器件钝化的 AlN 薄膜。通过 AES 分析和 XPS 分析证明,在淀积过程中, O 元素从 GaAs 表面转移到了 AlN 膜中。AlN/GaAs 界面处的 O 主要与 Al 结合,界面过渡区没有发现 Ga₂O₃ 氧化物。作者认为这是直流磁控反应溅射方法制备的 AlN 钝化 GaAs MESFET,取得了较好效果的原因。因此,直流磁控反应溅射方法制备的 AlN 用于 GaAs 器件钝化有较大的优越性。

致谢 本研究的样品是在南京电子器件研究所 0.1mm GaAs 工艺线上制备的;中国科学院半导体研究所俄歇组提供了 AES 和 XPS 分析。在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Y. A. Tkachenko, Y. Lan, D. S. Whitefield *et al.*, IEEE GaAs IC Symposium Digest, 1994, 259.
- [2] Y. Kohno, H. Matsubagashi, M. Komaru *et al.*, IEEE GaAs IC Symposium Digest, 1994, 263.
- [3] L. S. Klingbeil and M. R. Wilson, Solid-State Electronics, 1997, **41**: 429.
- [4] 曹昕, 罗晋生, 陈堂胜, 等, 固体电子学研究与进展, 1998, **18**(2): 165~ 169.
- [5] F. Hasegawa, T. Takahashi, K. Kubo *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 1987, **26**: L 1448.
- [6] J. Cho and N. C. Saha, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 1994, **343**: 253.

AlN/GaAs Interface Analyses by Auger Electron Spectroscopy and X-ray Photoelectron Spectroscopy

Cao Xin, Luo Jinsheng

(Institute of Microelectronics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Chen Tangsheng, Chen Kejin

(Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016)

Received 27 February 1998, revised manuscript received 13 April 1998

Abstract The AlN film is deposited at room temperature by D. C. magnetron reactive sputtering. The AlN film and AlN/GaAs interface are analyzed by Auger Electron Spectroscopy and X-ray Photoelectron Spectroscopy. At the AlN/GaAs interface, the O—Al bond is found and O—Ga or O—As bonds are not found. The O element at the AlN/GaAs interface is transferred into AlN film from GaAs surface during the film deposition. This is different from the interface characteristics of which the AlN film is deposited by PECVD. Because of O is bonded with Al, the AlN/GaAs interface exhibits good properties. This is why AlN film deposited by D. C. magnetron reactive sputtering is good for GaAs devices passivation.

PACC: 6855