

文章编号: 1673-5196(2007)05-0162-03

基于 MOVPE 和 MBE 法生成的 GaN 薄膜的反射、透射光谱测量

齐学义¹, 李晨晨¹, 杨国来¹, 蔡丽霞²

(1. 兰州理工大学 流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 使用紫外-可见分光光度计, 研究用金属有机气相外延(MOVPE)方法生成在蓝宝石衬底上的 GaN 薄膜的反射光谱、透射光谱以及用分子束外延(MBE)方法生成在碳化硅衬底上 GaN 薄膜的反射光谱, 结果表明, 所测的 GaN 薄膜和体材料的吸收边出现在 364 nm 附近, 对应的禁带宽度为 3.41 eV. 在两种不同衬底上, 薄膜的反射谱由于材料晶格常数和热膨胀系数的不同有所差别.

关键词: 氮化镓薄膜; 反射光谱; 透射光谱

中图分类号: O 433.1; O 484.5 **文献标识码:** A

Reflection and transmission spectra measurement of GaN thin film generated by means of MOVPE and MBE procedures

QI Xue yi¹, LI Chen chen¹, YANG Guo lai¹, CAI Li xia²

(1. College of Fluid Power and Control, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: The reflection and transmission spectra of GaN thin film grown on the sapphire substrate by using metal organic vapor phase epitaxy were investigated with ultraviolet visible spectrophotometry. At the same time the reflection spectrum of GaN thin film grown on the SiC layer by means of molecular beam epitaxy was also studied. The results showed that the optic absorption edge took place at wavelength of 364 nm, corresponding to the direct band gap of 3.41 eV in width. The reflection spectra of the thin films on the both different substrates were different due to the difference in lattice constant and thermal expansion coefficient of the materials.

Key words: GaN thin film; reflection spectrum; transmission spectrum

GaN 材料的研究和应用是目前全球半导体研究的前沿和热点, GaN 材料是微电子、光电子各种器件应用领域的重要新型半导体材料^[1,2], 与 SiC、金刚石等半导体材料一起被誉为第三代半导体材料. 它具有强的原子键、高的热导率、化学稳定性好和强的抗辐射能力等性质, 是研制高频场效应晶体管、高电子迁移率晶体管、高功率微波器件以及从可见到紫外波段光发射和探测器件的重要材料^[3]. 但要使这些器件达到实用化, 不仅要进一步提高制备薄膜的质量, 还需要对它的物理性质深入研究, 特别是与发光直接有关的 GaN 的本征能级结构. J. F. Muth 等人^[4]在室温下测量的 GaN 薄膜的禁带宽度

是 3.452 ± 0.001 eV, Marusk 和 Tietjen^[5] 测量了 GaN 直接带隙能量为 3.39 eV, 并估算了一个带隙温度系数的经验公式 $dE_g/dT = -6.0 \times 10^{-4}$ eV/k, 而 Mone mar-B 等人^[6]测定基本的带隙为 3.5030 ± 0.0005 eV. 显然, 对于不同方法在不同条件下生成的薄膜其带隙宽度有所差别, 因此有必要对制备的 GaN 薄膜的禁带宽度和能级结构进行测量确定, 以便更好地利用材料特性进行研究工作.

利用光致发光(PL)谱方法可以确定 GaN 薄膜的禁带宽度^[7], 但是该方法的测量仪器比较昂贵, 在实际中应用不普遍, 而基于紫外-可见分光光度计的反射透射测量是一种常用的方法. 本文通过测得的反射和透射光谱中的吸收边和吸收峰的位置来确定 GaN 薄膜的光学禁带宽度和其他光学特性. 利用

收稿日期: 2007-06-12

作者简介: 齐学义(1945-), 男, 辽宁台安人, 教授, 博士.

蓝宝石衬底上 GaN 薄膜的透射谱测量 GaN 薄膜的光学常数见文[8,9].

1 GaN 薄膜的反射透射谱测量原理

实验样品是使用 MOVPE 和 MBE 方法分别在蓝宝石与碳化硅基片生成的 GaN 薄膜.薄膜的详细生长过程本文不再详细论述.对于在碳化硅基片上生成的 GaN 薄膜,由于碳化硅基片不透明,因此采用反射光谱测量方法.对于在蓝宝石基片上生成的 GaN 薄膜,由于蓝宝石基片是一种无色透明的晶体,因此既可以采用反射光谱测量方法也可以采用透射光谱测量方法.反射光谱和透射光谱是研究半导体能带结构及其相关性质的最基本光学方法.通过反射谱中吸收边和吸收峰与透射谱的分析,可以确定材料的光学禁带宽度以及定性地表征材料的生长质量.GaN 薄膜的反射和透射光谱是通过 SHIMANZU 公司生产的 VV-PC2501 紫外-可见分光光度计测量得到.当光线入射到平行的透明薄膜时,在薄膜内产生多次反射.在反射或透射光束中,在选择的波长上出现相长或相消的干涉.如果进行光谱测量,就得到一系列条纹,这也是测量薄膜材料折射率最精确的方法之一.

2 结果与分析

用紫外-可见分光光度计,测量了室温下生长在蓝宝石衬底上 GaN 薄膜的反射谱,波长范围从 190 nm 到 900 nm.通过测量反射谱的起始边,如图 1 中虚线所示,确定所测 GaN 薄膜室温下吸收带边主峰处在 364 nm 附近,计算出对应的禁带宽度为 3.41eV,从图中可以看出样品的干涉条纹有较大的调制深度(调制深度由衬底材料和薄膜的复合指数决定),说明薄膜的光学质量较好.为了验证 GaN 薄

膜吸收边的结果,在室温下测量同一样品上 GaN 薄膜的透射谱和生长在碳化硅基片上 GaN 薄膜的反射谱,如图 2,3 所示.几个样品的光谱都在 364 nm 处出现吸收边,由此可得出 GaN 薄膜的禁带宽度为 3.41eV,而且与体材料的相同.

图 4 是同一样品的反射谱和透射谱,从图中可更明显地看出反射谱和透射谱的吸收边对应于同一位置,并且透射光谱和反射光谱的极值条件互补,

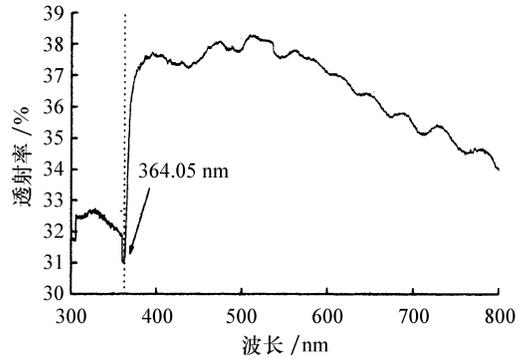


图 2 蓝宝石衬底上 GaN 薄膜的透射谱

Fig. 2 Transmission spectrum of GaN thin film on sapphire substrate

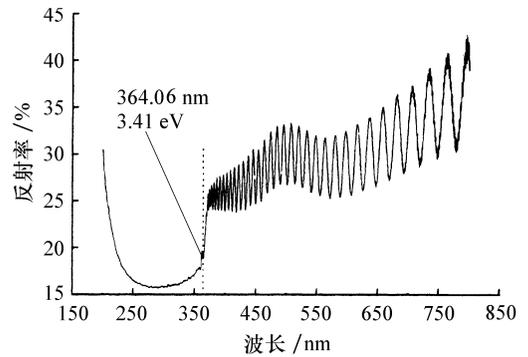


图 3 碳化硅衬底上 GaN 薄膜的反射谱

Fig. 3 Reflection spectrum of GaN thin film on SiC substrate

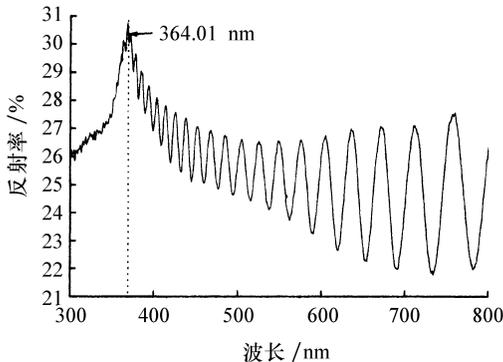


图 1 蓝宝石衬底上 GaN 薄膜的反射谱

Fig. 1 Reflection spectrum of GaN thin film on sapphire substrate

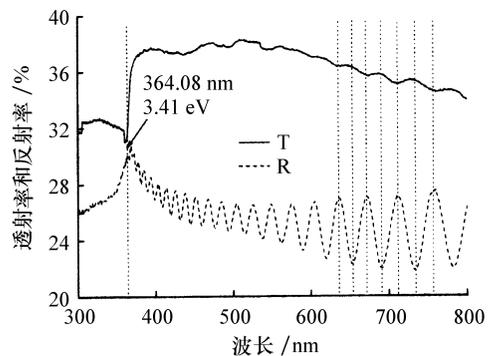


图 4 蓝宝石衬底上 GaN 薄膜的反射、透射谱

Fig. 4 Transmission and reflection spectra of GaN thin film on sapphire substrate

即透射光谱出现一系列极大值时,反射谱出现一系列极小值;而当透射谱出现一系列极小值时,反射谱出现一系列极大值.如果膜和衬底没有吸收时,二者对应位置之和为 1.由材料的吸收系数与波长的关系可知,GaN 薄膜在室温条件下,当波长大于 400 nm 时,随着入射光波长的增加,其吸收系数呈减小趋势变化^[4,8],由此导致反射光谱幅度越来越大,形成的干涉条纹调制深度也加深.

从图 1 和图 3 的反射谱吸收带边的陡峭程度可判断出在 SiC 衬底上生成的 GaN 薄膜成晶的质量要比蓝宝石衬底上生成的效果好,而且 SiC 衬底上的膜形成干涉条纹的周期振荡幅度更趋于一致.这是由于不同材料之间的晶格失配和热学性质差异造成的.蓝宝石衬底晶格常数与 GaN 相差约 15.7%,热膨胀系数与 GaN 材料的相比存在较大的差异,散热性能差;而 SiC 材料的晶格常数和热膨胀系数与 GaN 材料更为接近,可以形成较好的匹配.由于衬底材料与 GaN 之间晶格失配和热失配的好坏影响 GaN 外延层的晶体结晶状况和缺陷密度,最终使晶体结不完整,表面不平整;另一方面,由于利用 AlN 作为缓冲层,因此会在 GaN/AlN、AlN/Al₂O₃、AlN/SiC 界面处存在压力,随着异质外延薄膜厚度的增加,该应力释放的程度也会影响到膜的质量^[10].

3 结论

对 SiC 衬底上异质外延生成的 GaN 薄膜进行反射谱测量,结果表明,反射光谱的吸收边在 364 nm 附近,所对应的光学禁带宽度为 3.41 eV,由本征跃迁激发形成,其膜与体材料的禁带宽度一致,在相同条件下测量蓝宝石衬底上外延生成的 GaN 薄膜反射和透射谱,得到相同的结果.上述测量结果对

GaN 基紫外探测器的研究有一定参考价值.缓冲层 AlN 对薄膜生长的影响以及退火测量结果需要进一步研究.

参考文献:

- [1] MOHAMMAD S N, SALVADOR A A, MORKOC H. Emerging gallium nitride based devices [J]. Proceedings of the IEEE, 1995, 83: 1 306-1 355.
- [2] FEN R A, ZOLPER J C. Wide energy band gap electronic devices [J]. World Scientific, 2003, 81: 1-5.
- [3] MAKSI MOV O, GONG Y, DU H. Structural and optical properties of GaN films grown on GaAs substrates by molecular beam epitaxy [J]. Vacuum, 2006, 80: 1 042-1 045.
- [4] MUTH J F, LEE J H, SHMAGINI K, et al. Absorption coefficient, energy gap, exciton binding energy, and recombination lifetime of GaN obtained from transmission measurements [J]. Applied Physics Lett, 1997, 71(18): 2 572-2 574.
- [5] PANKOVE J I, BERKEYHEISER J E, MARUSKA H P. Luminescent Properties of GaN [J]. Solid State Commun, 1970, 7(1): 1 051-1 053.
- [6] LAGERSTEDT O, MONEMAR B. Luminescence in epitaxial GaN: Cd [J]. J Appl Phys, 1974, 45(5): 2 266-2 272.
- [7] SANG H L, JIN H B, SUNG Y L. Growth of single crystalline GaN thin films on Si (111) substrates by high vacuum metalorganic chemical vapor deposition using a single molecular precursor [J]. J Vac Sci Technol B, 2004, 22(4): 2 144-2 148.
- [8] YU G, WANG G, ISHII K, WAKA H. Optical properties of wurtzite structure GaN on sapphire around fundamental absorption edge (0.78 eV-4.77 eV) by spectroscopic ellipsometry and the optical transmission method [J]. Appl Phys Lett, 1997, 74: 3 209-3 211.
- [9] ZHANG J C, HAO Y, LI P X, et al. Thickness measurement of GaN film based on transmission spectra [J]. Acta Phys Sin, 2003, 53: 1 243-1 246.
- [10] 李 骏, 夏亚峰, 兰 倩. n 值标准序列逻辑系统中的近似推理理论 [J]. 兰州理工大学学报, 2006, 32(2): 135-138.