

溅射气压对 Si/Ge 多层膜结构光学常数的影响

张晋敏^{1,2)} 郜小勇¹⁾ 杨宇³⁾ 陈良尧¹⁾

(¹⁾ 复旦大学光科系, 上海, 200433;

²⁾ 贵州大学物理系, 贵州, 贵阳, 550025;

³⁾ 云南大学材料系, 云南, 昆明, 650091)

摘要 采用可变入射角全自动椭圆偏振光谱仪, 测量了用磁控溅射法制备的 Si/Ge 异质多层膜结构的光学常数, 测量能量范围为 1.5 ~ 4.5 eV. 分析了不同氩气压强对磁控溅射制备的 Si/Ge 异质多层膜结构的光学常数的影响. 实验结果表明, 在低能区域, 随压强的增加, 多层膜结构的所有光学常数均有不同程度的增加, 但在高能区域, 溅射气压对光学常数的影响不再明显. 多层膜结构的复介电常数的实部和虚部及折射率 n 的峰位随压强增大而向低能方向位移; 多层膜结构的消光系数 k 的峰位随压强的变化很小, 但其峰值随压强的增加而增加.

关键词 多层膜结构, 椭圆偏振光谱, 光学常数, 磁控溅射.

EFFECTS SPUTTERING Ar PRESSURE ON THE OPTICAL CONSTANTS OF Si/Ge MULTILAYERS

ZHANG Jin-Min^{1,2)} GAO Xiao-Yong¹⁾ YANG Yu³⁾ CHEN Liang-Yao¹⁾

(¹⁾ Department of Optical Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China;

²⁾ Department of Electronics Science and Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

³⁾ Department of Materials Science and Engineering, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China)

Abstract The optical constants of Si/Ge multilayers, which prepared by magnetron sputtering system, have been measured by spectroscopic ellipsometry. The measured photo energy range is from 1.5 eV to 4.5 eV. The effects of sputtering Ar pressure on optical constants of Si/Ge multilayers have been analyzed. The results show that the optical constants of Si/Ge multilayers increase with Ar pressure increasing in different degree within lower energy range, but the effects of Ar pressure are no more obvious in higher energy range. The peak positions of the complex dielectric functions and refractive index shift to lower energy direction with Ar pressure increasing. However, the changes of the peak positions of the extinction coefficient are very small, and their values increase with Ar pressure increasing.

Key words multilayers, spectroscopic ellipsometry, optical constants, magnetron-controlled sputtering.

引言

在 Si 衬底上采用与现有规模集成电路工艺相兼容的方式制作发光器件, 是光电集成领域的重要课题. 但众所周知, Si 是间接能隙半导体, 其发光效率远低于直接能隙半导体如 GaAs, 使其在应用上受到很大限制. 为了解决这一难题, 人们进行了许多尝试, 如多孔硅、硅氢化物、 β 相 FeSi 掺杂等等, 而硅基超晶格结构, 特别是 Si/Ge 应变超晶格异质结构, 是其中大有希望, 并已获得一定的成功^[1]. 采用分子束外延 (MBE) 技术, 已经实现了 Si/Ge 超晶格的能带剪裁^[2], 从理论上将 Si 的间接能隙转变为直接能隙, 大大提高了硅基器件的光学和电学性能, 一方面

可应用于新型光电器件的制备, 另一方面可应用于传统硅基电路, 提高电路的传输速度, 在光电子和通讯领域有着广阔的应用前景.

椭圆偏振光谱可用于众多固体材料光学性质的研究与分析, 被认为是直接测量材料光学常数的最精确方法之一^[3], 可以将实验中测量到的椭圆偏参数与光学常数, 与材料的微观电子态的光学跃迁机理以及多种物理现象的微观机制联系起来. 用椭圆偏振光谱法研究 Si/Ge 多层膜结构的光学常数在文献中尚未见报道. 虽然单晶 Si、Ge 的光学常数早为人知, 但 Si/Ge 多层膜结构的光学常数与单晶 Si、Ge 的光学常数区别很大, 而且与制备工艺密切相关. 本文用可变入射角全自动椭圆偏振光谱仪研究磁控溅射制备的

Si/Ge 多层膜的光学常数,并分析了溅射 Ar 压强对多层膜结构光学常数的影响.

1 样品的制备和测量

1.1 样品制备

样品为在不同 Ar 压强下,用 JGP500A 超高真空多靶磁控溅射仪制备的 SiGe/Si 异质多层膜结构^[4]. 样品编号为 1、2、3、4,对应的溅射 Ar 压强分别为 1Pa、1.5Pa、2.5Pa、3Pa. 溅射时本底真空优于 8×10^{-5} Pa,衬底温度为 590℃,灯丝电压 6V,溅射电压 500V,溅射电流 0.3A(溅射功率 150W),4 个样品均是在 Si(100)单晶片先生长 88s 的 Si 缓冲层,然后交替生长 22s 的 Ge 和 88s 的 Si 各 10 层,各样品均以 30r/min 的速率自转,以提高样品的均匀性.

1.2 椭圆光谱的测量

室温下采用可变入射角全自动椭圆偏振光谱仪^[5],测量了 Si/Ge 多层膜结构的光学常数. 测量时入射角固定为 70°,测量能量范围为 1.5~4.5eV,测量能量间隔为 0.05eV. 样品厚度较大,且在测量能量范围吸收较大,因而可以不考虑干涉的影响,这一点从变入射角测量的结果得到证实. 由实验得到椭圆参数 Ψ 和 Δ ,根据两相模型可直接得到复介电常数^[6]:

$$\tilde{\epsilon} = \sin^2\theta + \sin^2\theta \tan\theta \left(\frac{1 - \tilde{\rho}}{1 + \tilde{\rho}} \right)^2.$$

式中 θ 为入射角, $\tilde{\rho} = \tan\Psi e^{i\Delta}$.

2 实验结果和讨论

图 1 和 2 为在不同 Ar 压强下制备的 Si/Ge 多层膜结构的复介电常数的实部 ϵ_1 和虚部 ϵ_2 随入射光子能量的变化曲线. 图 1 表明,对所有样品,在入射光

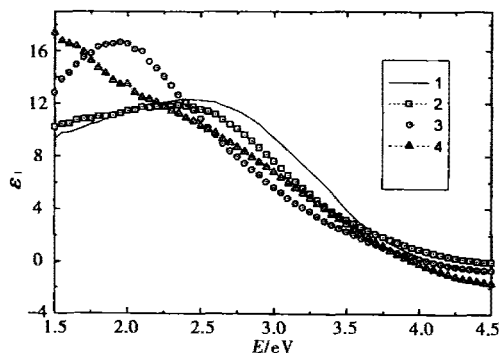


图 1 不同溅射气压 Si/Ge 多层膜结构的介电函数实部谱
Fig. 1 The spectra of the real part of dielectric function ϵ_1 for Si/Ge multilayers prepared at various sputtering Ar pressures

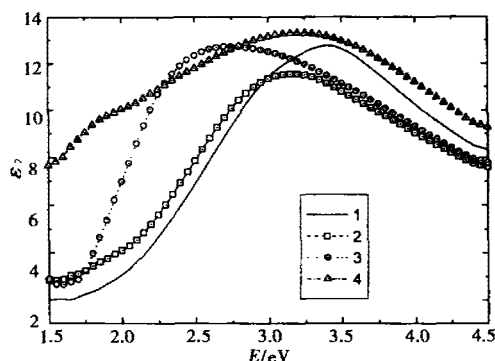


图 2 不同溅射气压 Si/Ge 多层膜结构的介电函数虚部谱
Fig. 2 The spectra of the imaginary part of dielectric function ϵ_2 for Si/Ge multilayers prepared at various sputtering Ar pressures

子能量较大时, ϵ_1 随入射光子能量的增加而降低;当能量较低时, ϵ_1 有一峰值,随压强的增加峰位向低能方向位移,且峰值随压强增加先略有降低然后增加,1、2、3 号样品,对应的压强分别为 1Pa、1.5Pa、2.5Pa,其峰位分别位于 2.5eV、2.4eV、1.9eV,对压强为 3Pa 的 4 号样品,在测量范围内未见峰值. 由图 1 还可以看到,入射光子能量较低时,压强的影响较为显著,而入射光子能量较高时,压强的影响显著减小,对低能区域乃至红外区的研究目前仍在进行之中.

图 2 表明 ϵ_2 随入射光子能量增加,先增大然后减小,有一峰值,随溅射气压增加,峰位先向低能方向移动,但 $P = 3$ Pa 时,峰又移向高能方向,其原因尚需进一步探讨. ϵ_2 的峰值随 Ar 压强增大先减小再增加,由图可见 ϵ_2 的大小受溅射气压影响较大.

图 3 和 4 是 Si/Ge 多层膜结构的折射率 n 和消光系数 k 随溅射时 Ar 压强和入射光子能量的变化曲线. 由图 3 可见,折射率随溅射气压和入射光子能量的变化情况基本上与 ϵ_1 相同.

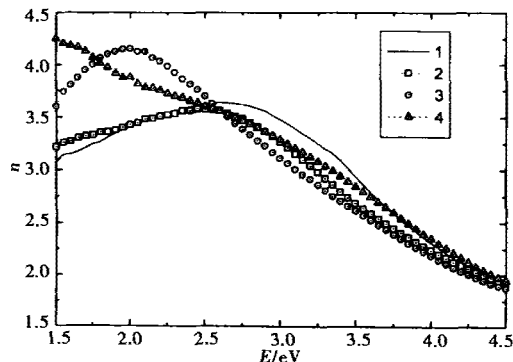


图 3 不同溅射气压 Si/Ge 多层膜结构的折射率谱
Fig. 3 The spectra of the refractive index n for Si/Ge multilayers prepared at various sputtering Ar pressures

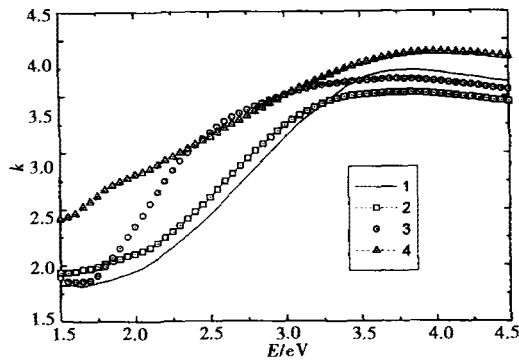


图4 不同溅射气压 Si/Ge 多层膜结构的消光系数谱
Fig.4 The spectra of the extinctive coefficient k for Si/Ge multilayers prepared at various sputtering Ar pressures

图4表明,在不同溅射气压下样品的消光系数 k 均随入射光子能量的增加而增加,在 3.5eV 附近达到极大值后稍有降低,峰位随压强的变化很小,但其大小随压强的增加而增大,即溅射时 Ar 压强对 k 值大小影响较大,但对其峰位的影响较小。

由以上结果可以看到,在低能区域, Si/Ge 多层膜结构的各光学常数受制备时溅射 Ar 压强影响较大,均随 Ar 压强的增加而增加,压强较低时,样品的光学常数显著偏低.这是因为在溅射的过程中,磁控溅射仪中主要存在高能的溅射原子和中性的 Ar 分子,在高速原子从靶材中逸出并沉积到基片上成膜的过程中,高能溅射原子与中性 Ar 分子将发生相互碰撞,当 Ar 压强较低时,由于高能溅射原子的能量很高,而 Ar 分子较少,则 Ar 分子对高能原子的碰撞阻碍作用较小,因而在高能溅射原子和 Ar 分子的共同作用下产生均匀致密的薄膜,并在一定的 Ar 压强范围内,膜的均匀性和致密性均随溅射气压的增加而增大,因而其光学常数随溅射气压的增加而增加.但随入射光子能量增加,溅射时 Ar 压强对超晶格光学常数的影响显著减小。

3 结论

在室温下采用可变入射角全自动椭圆偏光光谱仪,对在不同的溅射 Ar 压强下用磁控溅射制备 Si/Ge 异质多层膜结构的光学常数进行了研究,结果表明,溅射时 Ar 压强对超晶格的光学常数有如下影响:在低能区域,样品的所有光学常数均随压强增加而增加,受制备工艺影响较大;但在高能区域,光学常数随压强的变化相对来说不再明显.超晶格的复介电常数的实部和虚部及折射率 n 的峰位随压强增大而向低能方向位移;超晶格的消光系数 k 的峰位随压强的变化很小,但其大小随压强的增大而增加。

REFERENCES

- [1] ZHOU Guo-Liang, WANG Xun. Molecular epitaxial growth of the super integral SiGe/Si superlattice. The Doctoral Dissertation of Fudan University (周国良,王迅,高完整 SiGe/Si 超晶格的分子外延生长. 复旦大学博士论文), 1991
- [2] YANG Yu, WANG Xun. The optical-induced emission of the MBE epitaxial SiGe/Si quantum well. The Doctoral Dissertation of Fudan University (杨宇,王迅,分子束外延 SiGe/Si 量子阱光致发光研究. 复旦大学博士论文), 1996
- [3] Chen L Y, Lynch D W. Scanning ellipsometer by rotating polarizer and analyzer. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(24): 5221—5228
- [4] MAO Xu, LI Hong-Ning, YANG Ming-Guang, *et al.* Effect of the Ar pressure on Ge/Si multilayer film by RF sputtering. *Yunnan University Transaction (Science and Technology Edition)* (毛旭,李宏宁,杨明光,等. 射频溅射中氩气压强对 Ge/Si 多层膜的影响. 云南大学学报(自然科学版)), 1999, **21**(1): 23—26
- [5] Chen Liangyao, Feng Xinwe, Su Yi, *et al.* Improved rotating analyzer-polarizer type of scanning ellipsometer. *Thin Solid Film*, 1993, **234**: 385—389
- [6] Aspöck D E. *Optical Properties of Solids: New Development*. Serphin B O, ed. North-Holland; Amsterdam, 1976: 15