

4H-SiC 材料在紫外波段吸收系数的分析研究

陈厦平 朱会丽^a

(厦门大学物理系 福建省厦门市思明南路 422 号 361005)

^a(集美大学理学院 福建省厦门市集美区银江路 183 号 361021)

摘 要 基于已报道的 4H-SiC 材料在紫外波段(325—390nm)吸收系数的测定, 结合经验公式, 采用外推和多项式拟合方法分析 4H-SiC 材料在 200—400nm 紫外波段的吸收系数, 并得到 4H-SiC 材料的吸收系数与波长的关系式。对 4H-SiC 吸收系数的分析研究将作为 4H-SiC 光电探测器结构设计的一个重要依据。

关键词 4H-SiC; 吸收系数; 紫外(UV)

中图分类号: O434.2; TN304.7

文献标识码: A

文章编号: 1004-8138(2010)04-1597-04

1 引言

近年来, 国际上纷纷采用第三代宽带隙(WBS)半导体材料, 如碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)等研制可工作在 200—400nm 波段的半导体紫外光电探测器, 应用于军事(如导弹和飞机等飞行物探测)、紫外天文学、可燃气体成分分析和生物细胞癌变检测等方面, 具有极高的军事和民用价值, 因此成为光电探测领域的研究热点。由于 4H-SiC 材料具有宽带隙(约 3.26eV)、高临界击穿电场、高热导率、高载流子饱和漂移速率等特性, 被认为是制备高温、高频、抗辐射以及紫外光电器件的极具潜力的半导体材料^[1]。

半导体材料通常都能强烈地吸收光能, 即具有较大的吸收系数。随着入射光波在半导体中传播, 波的振幅随着透入的深度而减小, 即存在光的吸收。这是由于半导体内部有自由电子存在, 波在传播过程中在半导体内激起传导电流, 光波的部分能量转换为电流的焦耳热, 因此, 半导体材料的吸收系数决定于电导率^[2]。对于半导体材料而言, 吸收系数除了与材料本身有关外, 还随着光的波长变化。对于吸收系数很大的情况(如 $\alpha = 10^5 \text{cm}^{-1}$), 光的吸收实际上集中在材料很薄的表层内。

已有一些报道^[3,4]对 4H-SiC 材料在紫外波段(325—390nm)的吸收系数进行测定。本文在已有的研究基础上, 根据经验公式, 结合外推方法得到 4H-SiC 材料在 200—400 nm 紫外波段的吸收系数, 并采用多项式拟合分析得到 4H-SiC 在紫外波段(200—400nm)的吸收系数与波长的关系式。该

福建省自然科学基金项目资助(N₀ 2009J05151)和厦门市科技计划项目(N₀ 350z20031076)资助

联系人, 电话: (0592)2182458; (0)13950005856; E-mail: chenxp@xmu.edu.cn

作者简介: 陈厦平(1981—), 男, 福州市人, 工程师, 博士, 主要从事宽禁带半导体材料薄膜的制备及紫外光电探测器的研制工作。

收稿日期: 2010-05-28; 接受日期: 2010-07-02

研究结果将应用于 4H-SiC 紫外光电探测器结构设计和研制当中。

2 4H-SiC 吸收系数分析

对于光能在半导体材料中的衰减,可表示为^[2]:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

式中: α ——和光强无关的比例系数,称为吸收系数; x ——光波在半导体中的传播距离。由上式可知, α 的物理意义相当于光在半导体中传播 $1/\alpha$ 距离时能量衰减到原能量的 $1/e$ 。

对于 4H-SiC 半导体紫外光探测器而言,器件的光电性能不仅与 4H-SiC 材料结构有关,而且还与 4H-SiC 对不同波长的吸收系数 α 密切相关。目前,对于 4H-SiC 材料在紫外波段(200—400nm)吸收系数的测定还相当有限。S G Sridhara 等^[3]人曾于 1998 年报道过 4H-SiC 在 325—390nm 波段的吸收系数,如图 1 所示,同时,在表 1 中列出了在不同温度下利用 7 种常用紫外激光器测定的 4H-SiC 材料的吸收系数,这也是关于 4H-SiC 在紫外波段吸收系数较为全面的报道。X Guo 等人^[5]于 2006 年在一篇关于 4H-SiC 雪崩光电探测器的文献中提到,在 270nm 波长处,4H-SiC 材料的吸收系数 α 约为 10^4 cm^{-1} 。另有文献指出^[4],从图 1 中可得到在 325—420nm 波段 4H-SiC 的吸收系数 α 为 $16\text{—}1.4 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$,并且 $\alpha^{1/2}$ 与 λ 在 325—360nm 紫外波段呈近似直线关系,由于对 4H-SiC 在 200—325nm 波段的吸收系数还未有实验测定的相关报道,因此,文献[4]就图 1 所示的 $\alpha^{1/2}$ - λ 关系对 4H-SiC 材料在 200—325nm 紫外波段的吸收系数进行推算,如对于能量约 4.5eV 的入射光子,4H-SiC 的吸收系数约为 $6.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 。

表 1 4H-SiC 材料在不同温度下的吸收系数^[3]

波长 (nm)	激光器	T = 300K		T = 2K	
		α (cm^{-1})	穿透深度(α^{-1}) (μm)	α (cm^{-1})	穿透深度(α^{-1}) (μm)
325.0	He-Cd	1350	7.4	1160	8.6
333.6	Ar ⁺ ion	860	11	750	13
337.1	N ₂ gas	720	14	620	16
351.1	Ar ⁺ ion	290	35	225	44
354.0	He-Cd	230	44	170	59
355.0	3X Q/Nd:YAG	210	48	155	64
356.4	Kr ⁺	180	54	130	75

结合图 1 所示的 4H-SiC 材料的 $\alpha^{1/2}$ - $h\nu$ 关系曲线,由波长 λ 和光子能量 $h\nu$ 的关系式 $\lambda = 1241/h\nu(\text{nm})$,可得到如图 2 所示的 4H-SiC 材料吸收系数 α 与波长 λ 的关系曲线。其中,对于目前还未经实验测定的 4H-SiC 在 200—325nm 波段的吸收系数,依据 $\alpha^{1/2} \sim (E - E_g)^{1/2}$ ^[6]对其进行了外推。对图 2 所示的 α - λ 关系曲线,采用多项式拟合方法得到 4H-SiC 在 200—400nm 紫外波段的吸收

系数 α 与波长 λ 的关系式:

$$\alpha = -790.3 + 18.2\lambda - 0.17\lambda^2 + 8.57 \times 10^{-4}\lambda^3 - 2.39 \times 10^{-6}\lambda^4 + 3.53 \times 10^{-9}\lambda^5 - 2.16 \times 10^{-12}\lambda^6 \quad (2)$$

由图 2 可以看出, 4H-SiC 材料的吸收系数 α 与入射光波长 λ 关系密切, 如果入射光波长 λ 太长, 即对应的入射光子能量太小, 且小于 4H-SiC 材料的禁带宽度时, 吸收系数就非常小, 不足以产生显著的带间吸收跃迁。当入射光波长 λ 很短, 即对应的入射光子能量很大时, 材料的吸收系数就很大 ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$), 这样大部分的入射光子在表层附近将被吸收, 而表层的复合时间又很短, 导致光生载流子在被结区收集之前就已经被复合掉。因此, 采用 4H-SiC 制备光探测器, 其能明显产生光响应的入射波长范围是有限的, 如果针对 4H-SiC 光电探测器的结构进行设计, 材料的吸收系数将是一个重要的参数条件。

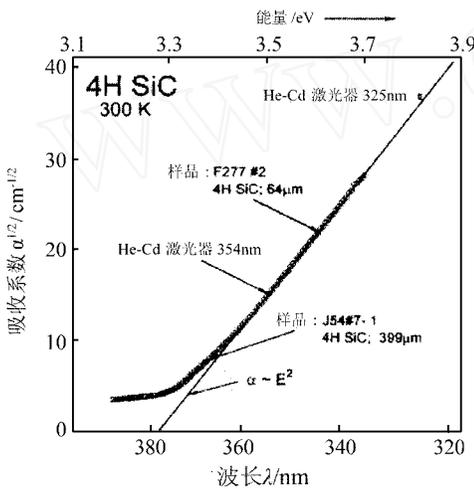


图 1 4H-SiC 材料在 325—390nm 波段的吸收系数

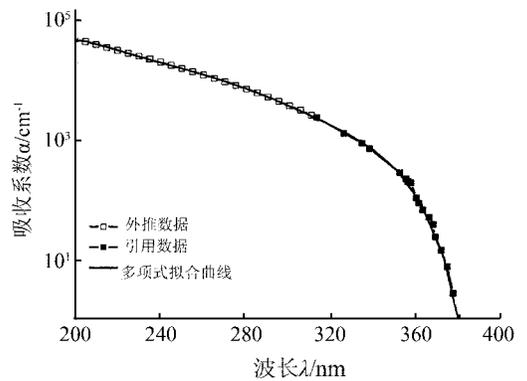


图 2 4H-SiC 材料吸收系数 α 与波长 λ 的关系曲线

参考文献

[1] 郝跃, 彭军, 杨银堂. 碳化硅宽带隙半导体技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1—15.

[2] 刘恩科, 朱秉升, 罗晋生等. 半导体物理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003. 77—139.

[3] Sridhara S G, Devaty R P, Choyke W J. Absorption Coefficient of 4H Silicon Carbide from 3900 to 3250nm [J]. *J. Appl Phys*, 1998, **84**(5): 2963—2964.

[4] Blank T V, Goldberg Y A, Konstantinov O V. Temperature Dependence of the Performance of Ultraviolet Detectors[J]. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A*, 2003, **509**(1—3): 109—117.

[5] Guo X, Rowland L B, Dunne G T et al. Demonstration of Ultraviolet Separate Absorption and Multiplication 4H-SiC Avalanche Photodiodes[J]. *IEEE Photon Techn Lett*, 2006, **18**(1—4): 136—138.

[6] Guo X. High Performance Ultraviolet 4H-SiC Avalanche Photodiodes[D]. USA: Univ. Texas at Austin, 2005.

Research and Analysis on Absorption Coefficient of 4H-SiC at Ultraviolet Wavelength

CHEN Xia-Ping ZHU Hui-Li^a

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, P. R. China)

^a(School of Science, Jinji University, Xiamen, Fujian 361021, P. R. China)

Abstract Based on the previous reports on the absorption coefficients of 4H-SiC at 325—390nm, the extrapolation and polynomial fitting methods for analysis of the absorption coefficients of 4H-SiC at 200—400nm was established. And the relationship between the absorption coefficient and the wavelength was obtained.

Key words 4H-SiC; Absorption Coefficient; Ultraviolet (UV)

欢迎您投稿“高效、保质”的中文核心期刊 《光谱实验室》

这是您的发明、发现获得“优先权”的可靠保障！

发表周期多数(50% - 75%)为 5—9 个月，
少数(20% - 45%)为 1—5 个月，极少数(0- 7%)为 15—30 天

及时发表科技论文，是尽早实现其社会效益的前提，也是作者创造性劳动得到尊重、为在世界上取得“优先权”的可靠保障。因为发明、发现的“优先权”通常是以出版时间为准的。因此，本刊把尽快发表作者的论文，视为自己的神圣职责。

确保论文质量是论文早日发表的条件。作者发表论文总是要反映自己在工作有所发明、有所发现和有所创造的成绩，而不是去暴露自身的“缺欠”和“毛病”；换言之，作者发表论文总是要为自己“争光”，而不是让自己“蒙羞”。因此，作者投稿之前，除了自己要反复检查外，一定要多请您周围的同事、专家挑“毛病”，把“毛病”消灭在投稿之前，再投本刊才能发表得快。如果本刊挑出毛病，再请作者修改，反复“折腾”，不仅消耗双方精力，而且必然延长发表时间。保证质量的基本要求就是论文要做到“齐、清、定”。“齐”即全稿包括表、图和照片等齐全；“清”即文字图片打印(书写)清楚，不得有模糊不清的文字、图片和数字，段落要分明，便于排版和校对；“定”即做到稿件内容完整、简洁，在编辑过程中无须增删修改。

来稿请用 Word 排版，用电子邮件发到本部电子信箱(E-mail: gpsys@263.net)。

本刊收到作者来稿后，都会在 3 日(遇公休日顺延)内发出“收稿通知”。因此，作者发送稿件后 7 日以上都没有消息，一定要及时来电查询。

一篇论文出版，常常需要反复沟通“作者—编辑部—审者—编辑部—作者”之间的联系，其中与作者的联系是最重要的一环，一旦脱节，必然中断编辑过程。因此作者来稿时，务必将联系人的正确的姓名和详细地址、办公室电话、手机号码、传真号码和电子信箱等(通讯方式要尽可能全)告诉编辑部，以便能与您及时联系。否则，由此而产生的不良后果由作者自己负责。

本刊发表论文的宗旨是学术交流，而不是应付“评职称”、“拿文凭”等。

《光谱实验室》编辑部