



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109060759 A

(43)申请公布日 2018.12.21

(21)申请号 201810667559.8

(22)申请日 2018.06.26

(71)申请人 中国电子科技集团公司第五十五研究所

地址 210016 江苏省南京市中山东路524号

(72)发明人 郭怀新 李忠辉 尹志军 陈堂胜

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心 32203

代理人 陈鹏

(51)Int.Cl.

G01N 21/65(2006.01)

G01N 25/20(2006.01)

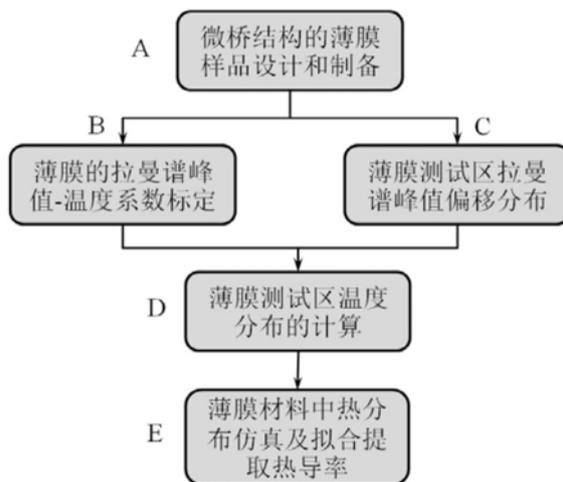
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,包括:待测薄膜样品的微桥结构设计及制备;薄膜材料的拉曼谱峰随温度偏移系数标定;薄膜微桥待测区温度分布计算;利用仿真拟合分析提取薄膜的热导率。本发明解决了特定厚度的半导体薄膜材料热导率精确表征问题,提升了测试精度和降低了测试成本,满足半导体器件对厚度在百纳米到十微米之间薄膜材料热性能的研究需求,对提升器件热管理的技术开发有极大的指导意义。



1. 一种基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,设计待测薄膜的试样测试区的微桥结构,并基于光刻、蒸发、等离子体刻蚀技术进行样品制备;

步骤2,对待测薄膜材料开展特定温度下拉曼光谱测试,进行峰值-温度偏移系数标定;

步骤3,对待测薄膜的表面电极施加特定功率,测试微桥结构的中心区域拉曼谱峰值的偏移量;

步骤4,依据标定的峰值-温度偏移系数,计算微桥结构中心区域的温度分布;

步骤5,进行待测薄膜热传递的热分布仿真,结合测试的温度分布,最终拟合提取薄膜的热导率。

2. 根据权利要求1所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤1中微桥结构的设计方法为:

首先在待测区薄膜上设计线性热源,即条形电极,其微桥区的电极宽度在3~5um之间,长度和刻蚀区长度一致;

其次,线性热源两端设计电路连接区,用于与外接电路互连;

最后,在衬底上设计微桥结构的刻蚀区,其长宽比范围在4:1到5:1之间。

3. 根据权利要求2所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,电极厚度在100~200nm之间。

4. 根据权利要求2所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,刻蚀区长度在500~1000um之间。

5. 根据权利要求2所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,样品的制备过程中,电极采用金、铝或铂的蒸发工艺,衬底刻蚀区采用等离子体刻蚀工艺。

6. 根据权利要求1所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤2利用拉曼法进行待测薄膜材料的拉曼谱峰随温度偏移系数的标定:

$$K = \Delta \omega / \Delta T$$

其中,K为峰值-温度偏移系数, $\Delta \omega$ 为薄膜材料峰值偏移量, ΔT 为温度偏移差量;温度范围选取25~200°C之间,以25°C的谱峰值为基准。

7. 根据权利要求1所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤3具体为:

对待测薄膜的表面电极施加特定功率,测试微桥结构的中心区域拉曼谱峰值的偏移量,其施加功率范围在0.2~1W之间,测试区域为微桥中心区域的电极法线方向,测试间距为2~20um;所述微桥中心区域是指微桥结构长度方向正中心处电极法线方向。

8. 根据权利要求1所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤4具体为:

依据标定的峰值-温度偏移系数K,结合测试得到的电极法线方向拉曼峰值,计算出微桥表面的薄膜中心区域的温度分布。

9. 根据权利要求1所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤5具体为:

首先建立测试样品结构的热传递的三维仿真模型,按测试条件输入模型的边界条件,将薄膜的热导率设置为变量,进行仿真计算其中心区电极法线方向的温度分布,将其仿真温度分布曲线和测试的结果进行拟合,最终仿真结果和测试结果拟合一致时,得到薄膜的热导率值。

10. 根据权利要求9所述的基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤5具体过程为:建立测试样品结构的热传递的三维仿真模型,将待测薄膜的热导率设置为变量,其范围为A~B,其中A为薄膜热导率理论值的70~75%,B为薄膜热导率理论值,增量为 $1\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$,仿真计算其中心区电极法线方向的温度分布和测试的结果进行拟合,热导率在C~D之间时全部覆盖测试结果,当变量值为E时和测试结果有最大拟合,则该薄膜的热导率为E,误差值为 $\pm\max(|D-E|, |C-E|)$ 。

基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体薄膜测试技术,具体涉及一种基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法。

背景技术

[0002] 以氮化镓、砷化镓为代表的半导体向高功率密度方向发展的趋势受限于自身热积累效应引起器件结温升高问题,严重导致器件性能和可靠性的下降。因此,器件的热管理已成为大功率器件研发和应用领域的一个重要研究方向,而器件自身材料的热性能研究贯穿于器件热设计的整个过程,是评估和指导热管理研发的重要途径。目前,半导体器件的热管理技术已由传统的系统级向封装级和芯片级方向发展,而系统级和封装级热管理由于尺寸的宏观性,其设计自身材料的热特性测试评估技术十分完善;而对芯片级热管理由于涉及芯片结构的微纳尺寸,其自身的薄膜材料在几百微米到几个微米之间,薄膜材料的热特性严重受尺寸维度的影响,且薄膜样品的制备困难,导致其表征技术未有统一的标准。

[0003] 目前,应用于半导体薄膜的测试方法多采用电学法和激光热反射法。电学法包含基于微桥结构的热电偶测试法和 3ω 法,微桥结构的热电偶测试法的精度受热电偶的温度变化精度影响,其测试误差大;而 3ω 法受限于加热频率范围,热穿透深度大,不适用于 $10\mu\text{m}$ 以下的薄膜材料测试。激光热反射法由于待测样品表面需要蒸镀吸热层导致其测试和最终拟合的结果精确性受影响,且测试台需自行搭建,测试复杂、费用昂贵。因此目前急需一种高精度且经济的薄膜热导率测试分析方法,满足半导体器件对厚度在几百纳米到几个微米之间薄膜材料热性能的研究需求,对提升器件热管理的技术开发有极大的指导意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,克服现有测试技术对半导体微纳薄膜热导率表征分析精度不足和经济性差的问题,通过含条形电极的微桥热结构设计,以满足拉曼测试和仿真拟合分析的结合,近而实现微纳级薄膜热导率精确表征。

[0005] 实现本发明目的的技术方案为:一种基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤1,设计待测薄膜的试样测试区的微桥结构,并基于光刻、蒸发、等离子体刻蚀技术进行样品制备;

[0007] 步骤2,对待测薄膜材料开展特定温度下拉曼光谱测试,进行峰值-温度偏移系数标定;

[0008] 步骤3,对待测薄膜的表面电极施加特定功率,测试微桥结构的中心区域拉曼谱峰值的偏移量;

[0009] 步骤4,依据标定的峰值-温度偏移系数,计算出微桥结构的中心区域的温度分布;

[0010] 步骤5,进行待测薄膜热传递的热分布仿真,结合测试的温度分布,最终拟合提取

薄膜的热导率。

[0011] 进一步的,步骤1中微桥结构的设计方法为:

[0012] 首先在待测区薄膜上设计线性热源,即条形电极,其微桥区的电极宽度在3~5um之间,其长度和刻蚀区长度一致;

[0013] 其次,线性热源两端设计电路连接区,满足和外接电路的互连;

[0014] 最后,在衬底上设计微桥结构的刻蚀区,其长宽比范围在4:1到5:1之间。

[0015] 进一步的,电极厚度在100~200nm之间。

[0016] 进一步的,刻蚀区长度在500~1000um之间。

[0017] 进一步的,样品的制备过程中,电极采用金、铝或铂的蒸发工艺,衬底刻蚀区采用等离子体刻蚀工艺。

[0018] 进一步的,步骤2利用拉曼法进行待测薄膜材料的拉曼谱峰随温度偏移系数的标定:

$$[0019] \quad K = \Delta \omega / \Delta T$$

[0020] 其中,K为峰值-温度偏移系数, $\Delta \omega$ 为薄膜材料峰值偏移量, ΔT 为温度偏移增量;温度范围选取25~200℃之间,以25℃的谱峰值为基准。

[0021] 进一步的,步骤3具体为:

[0022] 对待测薄膜的表面电极施加特定功率,测试微桥结构的中心区域拉曼谱峰值的偏移量,其施加功率范围在0.2~1W之间,采用拉曼测试在特定功率范围下的材料拉曼谱峰值偏移量,其测试区域为微桥中心区域的电极法线方向,测试间距为2~20um;所述微桥中心区域是指微桥结构长度方向正中心处电极法线方向。

[0023] 进一步的,步骤4具体为:

[0024] 依据标定的峰值-温度偏移系数K,结合测试得到的电极法线方向拉曼峰值,计算出微桥表面的薄膜中心区域的温度分布。

[0025] 进一步的,步骤5具体为:

[0026] 首先建立测试样品结构的热传递的三维仿真模型,按测试条件输入模型的边界条件,将薄膜的热导率设置为变量,进行仿真计算其中心区电极法线方向的温度分布,将其仿真温度分布曲线和测试的结果进行拟合,最终仿真结果和测试结果拟合一致时,得到薄膜的热导率值。

[0027] 进一步的,建立测试样品结构的热传递的三维仿真模型,将待测薄膜的热导率设置为变量,其范围为A~B,其中A为薄膜热导率理论值的70~75%,B为薄膜热导率理论值,增量为1W/m·K,仿真计算其中心区电极法线方向的温度分布和测试的结果进行拟合,热导率在C~D之间时全部覆盖测试结果,当变量值为E时和测试结果有最大拟合,则该GaN薄膜的热导率为E,误差值为 $\pm \max(|D-E|, |C-E|)$ 。

[0028] 与现有技术相比,本发明的显著优点为:(1)通过巧妙合理的含条形电极的微桥结构设计,构建满足拉曼测试和仿真拟合的薄膜热传输特性的表征,实现了微纳级半导体薄膜热导率的分析;(2)该热导率分析技术采用拉曼光谱标定温度,具有高空间分辨率,使表征的薄膜微桥区温度分布更加精确,拟合提取的薄膜热导率具有更高的精度;(3)该薄膜热导率的分析对材料厚度有要求,对材料种类无要求,适用范围极广。

附图说明

[0029] 图1是本发明基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法流程图。

[0030] 图2是本发明所涉及的测试试样结构和尺寸示意图。

[0031] 图3是本发明所涉及的半导体薄膜热导率拟合提取示意图。

具体实施方式

[0032] 如图1所示,一种基于拉曼光谱测试技术的半导体薄膜热导率分析方法,包括以下步骤:

[0033] (1) 设计待测薄膜的试样测试区的微桥结构,并基于光刻、蒸发、等离子体刻蚀技术进行样品制备。设计上满足拉曼测试和仿真拟合的薄膜热传输特性的表征需求,首先在待测区薄膜上设计线性热源,即条形电极,如图2所示,其微桥区的电极宽度在3~5um之间,厚度在100~200nm之间,其长度和刻蚀区长度一致;其次,线性热源两端设计电路连接区,满足和外接电路的互连;最后,在衬底上设计微桥结构的刻蚀区,其长宽比(L:W)范围在4:1到5:1之间,长度L在500~1000um之间。样品的制备过程中,其电极采用金、铝、铂金属的蒸发工艺,其衬底刻蚀区采用等离子体刻蚀工艺。

[0034] (2) 对待测薄膜材料开展特定温度下拉曼光谱测试,进行峰值-温度偏移系数标定。利用薄膜材料在特定温度范围内拉曼光谱峰值的偏移,按公式: $K = \Delta \omega / \Delta T$,计算其峰值-温度偏移系数K,其温度范围一般选取25~200℃之间,以25℃的谱峰值为基准,采样个数不低于4个。

[0035] (3) 对待测薄膜的表面电极施加特定功率,测试微桥结构的中心区域拉曼谱峰值的偏移量。其施加功率为特定值,其范围在0.2~1W之间,采用拉曼测试在特定功率范围下的材料拉曼谱峰值偏移量,其测试区域为微桥中心区域的电极法线方向(单一方向测试即可),测试间距为2~20um。

[0036] (4) 依据标定的峰值-温度偏移系数K,结合测试得到的电极法线方向拉曼峰值,计算出微桥表面的薄膜中心区域的温度分布,如图3所示。

[0037] (5) 进行待测薄膜热传递的热分布仿真,结合测试的温度分布,最终拟合提取薄膜的热导率。首先建立测试样品结构的热传递的三维仿真模型,按测试条件输入模型的边界条件,将薄膜的热导率设置为变量,进行仿真计算其中心区电极法线方向的温度分布,将其仿真温度分布曲线和测试的结果进行拟合,如图3中热导率为a~c时,全部覆盖测试结果,当热导率为b时,和测试结果有最大拟合,因此变量值b即为其薄膜的热导率值。

[0038] 下面结合实施例对本发明内容进行详细说明。

[0039] 实施例

[0040] 针对半导体氮化镓薄膜的热导率分析,其GaN薄膜的厚度为1.2um,衬底为SiC材料。

[0041] ①设计待测薄膜的试样测试区的微桥结构,并基于光刻、蒸发、等离子体刻蚀技术进行样品制备:待测区GaN薄膜上设计条形电极,宽度为5um,厚度在100nm,长度为500um;线性热源两端设计电路连接区尺寸为150um*150um,厚度与电极厚度一致;微桥结构的刻蚀区长宽为500um*120um。样品的电极采用金的蒸发完成,其SiC衬底刻蚀采用等离子体刻蚀完

成。

[0042] ②对待测薄膜材料开展特定温度下拉曼光谱测试,进行峰值-温度偏移系数标定:将Ga_N薄膜温度设定为25℃、50℃、100℃、150℃和200℃,并利用拉曼进行光谱峰值的测定,按公式: $K = \Delta \omega / \Delta T$,计算其峰值-温度偏移系数K为0.012cm⁻¹/K。

[0043] ③对待测薄膜的表面电极施加特定功率,测试微桥结构的中心区域拉曼谱峰值的偏移量:对Ga_N薄膜上的电极施加功率为0.29W,衬底温度为25℃,并采用拉曼测试在微桥中心区域的电极法线方向的Ga_N薄膜谱峰值偏移量,测试间距为10um,分别为1.597cm⁻¹、1.325cm⁻¹、1.132cm⁻¹、0.751cm⁻¹、0.484cm⁻¹、0.197cm⁻¹。

[0044] ④依据标定的峰值-温度偏移系数K,结合测试得到的电极法线方向拉曼峰值,计算出微桥表面的薄膜中心区域电极法线方向的温度分布为158.1℃、135.4℃、119.3℃、87.6℃、65.3℃、41.4℃。

[0045] ⑤进行待测薄膜热传递的热分布仿真,结合测试的温度分布,最终拟合提取薄膜的热导率:建立测试样品结构的热传递的三维仿真模型,其热源为0.29W,衬底温度为25℃,将Ga_N薄膜的热导率设置为变量,其范围为110~149W/m·K,增量为1W/m·K,仿真计算其中心区电极法线方向的温度分布和测试的结果进行拟合,拟合结果表明热导率在125~129W/m·K之间时覆盖全部测试值,当变量值为126W/m·K时和测试值有最大拟合,则该Ga_N薄膜的热导率为126W/m·K,误差值为±3W/m·K。

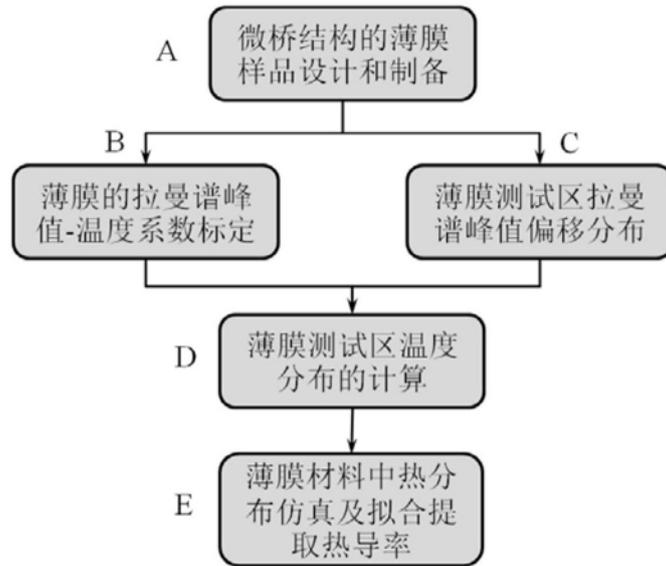


图1

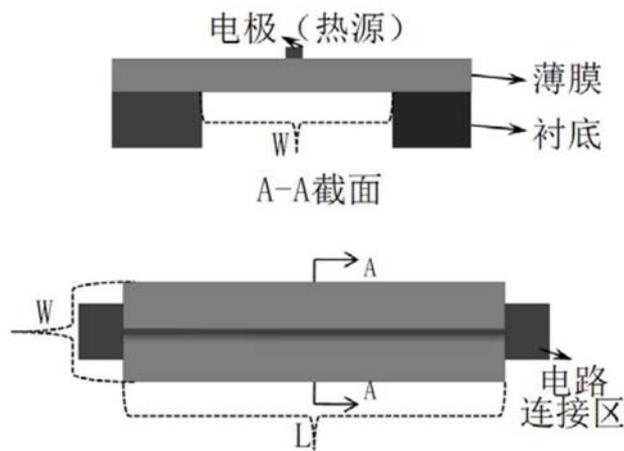


图2

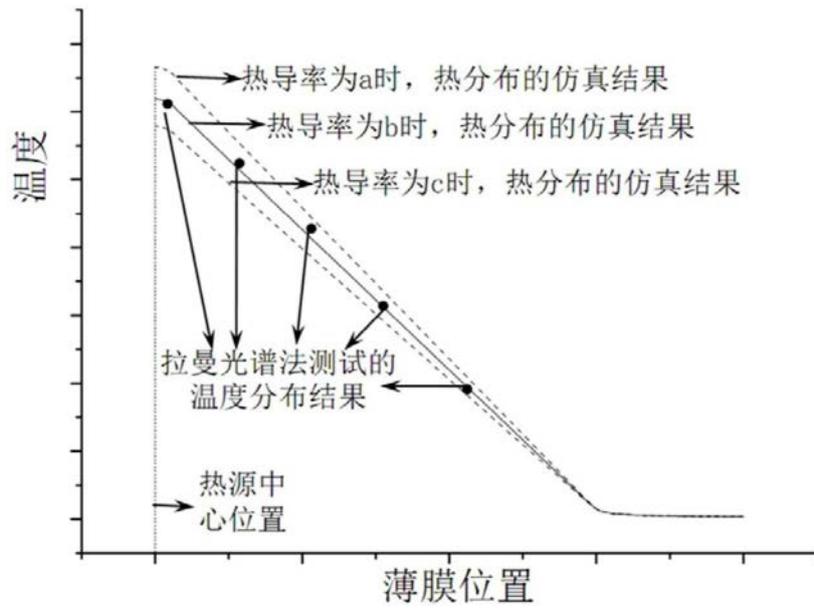


图3