



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109001250 A

(43)申请公布日 2018.12.14

(21)申请号 201810667819.1

(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 孔月婵 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 25/18(2006.01)

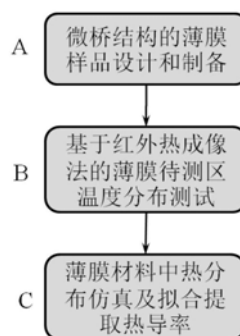
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,其原理是通过设计构建待测薄膜的微桥热传输结构,基于红外热成像技术实现对温度分布的测试,再利用热仿真去拟合测试的温度分布,进而实现被测薄膜的热导率的提取。本发明解决了特定厚度的薄膜材料热导率精确表征问题,并降低了测试成本,实现了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。



1. 一种基于红外热成像法的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、等离子体刻蚀技术实现样品制备;

步骤2,基于红外热成像技术对待测薄膜材料进行特定衬底边界温度下的微桥结构中心区域的温度分布测试;

步骤3,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所述的基于红外热成像法的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 $3\sim 7\mu\text{m}$ 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1所述的基于红外热成像法的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。

4. 根据权利要求2或3所述的基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,其特征在于,电极厚度为 $50\sim 100\text{nm}$ 。

5. 根据权利要求4所述的基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,其特征在于,刻蚀区长度为 $500\sim 1000\mu\text{m}$ 。

6. 根据权利要求1所述的基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,其特征在于,对待测薄膜的表面电极施加特定功率,功率范围在 $0.2\sim 0.5\text{W}$ 之间,衬底温度为 $60^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,其测试区域为微桥中心区域,沿电极法线方向提取的测试的温度数据,提取间距为 $5\sim 10\mu\text{m}$ ;所述微桥中心区域为微桥结构长度方向正中心处电极法线方向。

7. 根据权利要求1所述的基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤3利用有限元仿真技术对待测样品的热分布进行计算,结合测试得到的温度分布结果进行拟合提取薄膜的热导率,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。

8. 根据权利要求7所述的基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,其特征在于,步骤3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 $A\sim B$ ,其中A为薄膜热导率理论值的 $70\sim 75\%$ ,B为薄膜热导率理论值,增量为 $1\text{W/m}\cdot\text{K}$ ,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 $C\sim D$ 之间时覆盖全部测试结果,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 $\pm\max(|D-E|, |C-E|)$ 。

## 基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法

### 技术领域

[0001] 本发明半导体薄膜测试技术,具体涉及一种基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法。

### 背景技术

[0002] 功率半导体器件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 $3\omega$ 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 $3\omega$ 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。因此目前急需一种测试便捷且经济性好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红外热成像法的薄膜热导率分析方法,克服现有测试技术对厚度在百纳米至十微米的非金属薄膜热导率表征分析的便捷性低、经济性差及精度不足等问题,通过含条形电极的微桥热结构设计,以满足红外热成像测试和仿真拟合分析温度分布技术的结合,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:一种基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,

[0006] 包括以下步骤:

[0007] 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、等离子体刻蚀技术实现样品制备;

[0008] 步骤2,基于红外热成像技术对待测薄膜材料进行特定衬底边界温度下的微桥结构中心区域的温度分布测试;

[0009] 步骤3,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。

[0010] 进一步的,步骤1中微桥结构的设计方法为:

[0011] 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 $3\sim 7\mu\text{m}$ 之间,其长度和刻蚀区长度一致;

[0012] 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;

[0013] 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。

[0014] 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。

[0015] 进一步的,电极厚度为 $50\sim 100\text{nm}$ 。

[0016] 进一步的,刻蚀区长度为 $500\sim 1000\mu\text{m}$ 。

[0017] 进一步的,对待测薄膜的表面电极施加特定功率,功率范围在 $0.2\sim 0.5\text{W}$ 之间,衬底温度为 $60\text{C}\sim 80\text{C}$ ,其测试区域为微桥中心区域,沿电极法线方向提取的测试的温度数据,提取间距为 $5\sim 10\mu\text{m}$ ;所述微桥中心区域为微桥结构长度方向正中心处电极法线方向。

[0018] 进一步的,步骤3利用有限元仿真技术对待测样品的热分布进行计算,结合测试得到的温度分布结果进行拟合提取薄膜的热导率,具体为:

[0019] 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。

[0020] 进一步的,步骤3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 $A\sim B$ ,其中A为薄膜热导率理论值的 $70\sim 75\%$ ,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 $C\sim D$ 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 $\pm\max(|D-E|,|C-E|)$ 。

[0021] 本发明与现有技术相比,其显著优点为:(1)通过巧妙合理的含条形电极的微桥结构设计,构建满足红外热成像测试和仿真拟合的薄膜热传输特性的表征,实现了微纳级非金属材料热导率的分析;(2)该热导率分析技术采用传统的红外热成像测试温度分布,并结合仿真拟合提取待测薄膜的热导率,具有高经济性和测试便捷性;(3)该薄膜热导率的分析对非金属材料厚度有要求,对非金属材料的种类无要求,适用范围广。

## 附图说明

[0022] 图1是本发明基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法流程图。

[0023] 图2是本发明所涉及的测试试样结构和尺寸示意图。

[0024] 图3是本发明所涉及的非金属薄膜热导率拟合提取示意图。

## 具体实施方式

[0025] 结合图1,一种基于红外热成像法的薄膜热导率分析方法,包括以下步骤:

[0026] (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。设计上满足红外热成像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 $3\sim 7\mu\text{m}$ 之间,厚度在 $50\sim 100\text{nm}$ 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500~1000 $\mu\text{m}$ 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。

[0027] (2) 基于红外热成像技术对待测薄膜材料开展特定衬底边界温度下的微桥结构中心区域的温度分布测试。对待测薄膜的表面电极施加特定功率其范围在0.2~0.5W之间,衬底温度为60 $^{\circ}\text{C}$ ~80 $^{\circ}\text{C}$ ,其测试区域为微桥中心区域,沿电极法线方向(单一方向测试即可)提取的测试的温度数据,提取间距为5~10 $\mu\text{m}$ 。

[0028] (3) 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。

[0029] 下面结合实施例对本发明内容进行详细说明

[0030] 实施例

[0031] 针对半导体氮化镓薄膜的热导率分析,其Ga<sub>N</sub>薄膜的厚度为1.0 $\mu\text{m}$ ,衬底为SiC材料。

[0032] 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Ga<sub>N</sub>薄膜上设计条形电极,宽度为5 $\mu\text{m}$ ,厚度在100nm,长度为500 $\mu\text{m}$ ;线性热源两端设计电路连接区尺寸为150 $\mu\text{m}$ \*150 $\mu\text{m}$ ,厚度与电极厚度一致;微桥结构的刻蚀区长宽为500 $\mu\text{m}$ \*120 $\mu\text{m}$ 。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。

[0033] ②基于红外热成像技术对待测薄膜材料开展特定衬底边界温度下的微桥结构中心区域的温度分布测试:对Ga<sub>N</sub>薄膜上的电极施加功率为0.2W,衬底温度为60 $^{\circ}\text{C}$ ,采用红外热成像法测试其微桥表面的薄膜中心区域电极法线方向的温度分布,提取间距为10 $\mu\text{m}$ (电极中心为0 $\mu\text{m}$ ,法线方向提取位置分布为0 $\mu\text{m}$ 、10 $\mu\text{m}$ 、20 $\mu\text{m}$ 、30 $\mu\text{m}$ 、40 $\mu\text{m}$ 和50 $\mu\text{m}$ ),其温度分布为151.2 $^{\circ}\text{C}$ 、137.9 $^{\circ}\text{C}$ 、122.3 $^{\circ}\text{C}$ 、107.5 $^{\circ}\text{C}$ 、92.2 $^{\circ}\text{C}$ 、77.0 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0034] ③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0.2W,衬底温度为60 $^{\circ}\text{C}$ ,将Ga<sub>N</sub>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115~124W/m·K之间时覆盖全部测试值,当变量值为118W/m·K时和测试值有最大拟合,则该Ga<sub>N</sub>薄膜的热导率为118W/m·K,误差值为 $\pm 6\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。

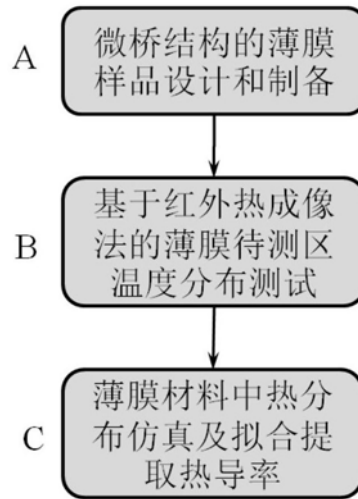


图1

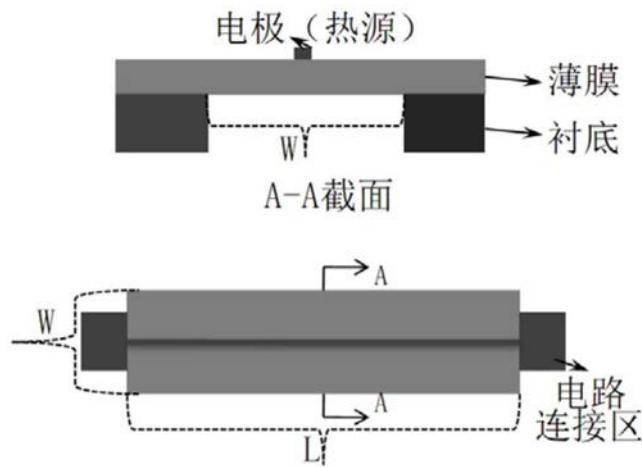


图2

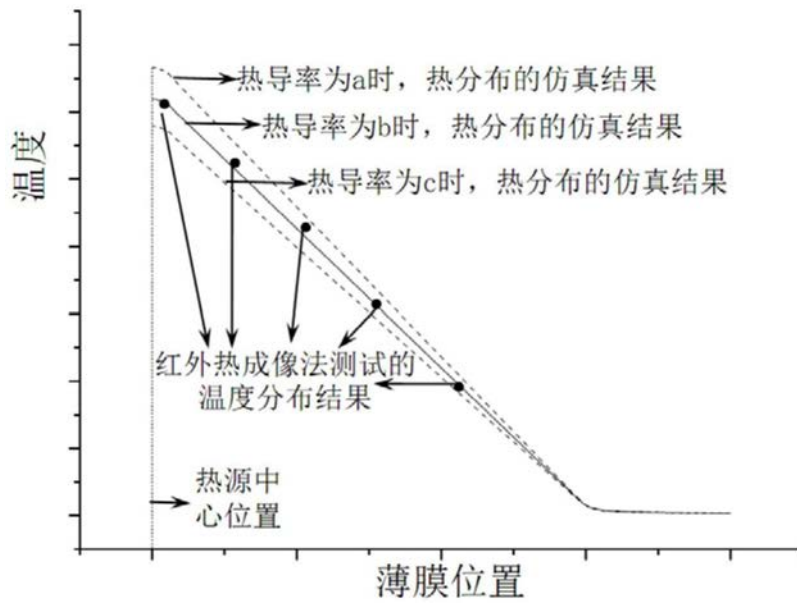


图3