



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106570211 A
(43)申请公布日 2017.04.19

(21)申请号 201610886947.6
(22)申请日 2016.10.11
(71)申请人 中南大学
地址 410000 湖南省长沙市岳麓区左家垅
(72)发明人 何虎 肖承地 李军辉 曹森
王彦 陈卓 朱文辉
(74)专利代理机构 长沙联扬知识产权代理事务
所(普通合伙) 43213
代理人 何湘玲
(51)Int.Cl.
G06F 17/50(2006.01)

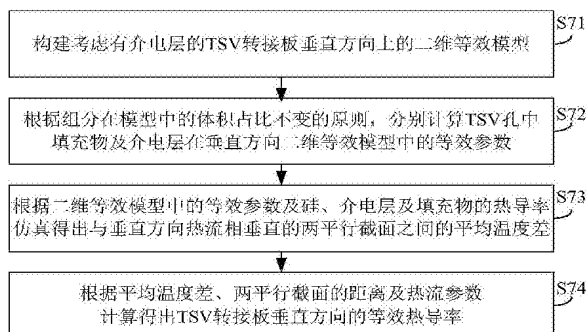
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

TSV转接板等效热导率预测方法及系统

(57)摘要

本发明涉及微电子封装与热管理计算领域，公开了一种TSV转接板等效热导率预测方法及系统，为解决3D集成封装芯片热管理问题提供基础支持。该方法包括：构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型；根据组分在模型中的体积占比不变的原则，分别计算TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数；根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差；根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率。



1. 一种TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,包括:

构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型;

根据组分在模型中的体积占比不变的原则,分别计算TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数;

根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差;

根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率。

2. 根据权利要求1所述的TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,填充物在垂直方向二维等效模型中的等效长度 l_{cu} 计算公式为:

$$l_{cu} = \frac{\pi d^2}{4pitch}, \text{其中} d \text{为填充物的直径,} pitch \text{为TSV转接板的节距。}$$

3. 根据权利要求1所述的TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,介电层在垂直方向二维等效模型中的等效厚度 t_{sio_2} 计算公式为:

$$t_{sio_2} = \frac{\pi(d_{sio_2}^2 - d^2)}{8pitch}, \text{其中} d \text{为填充物的直径,} pitch \text{为TSV转接板的节距,} d_{sio_2} \text{为介电层的外径。}$$

径。

4. 根据权利要求1所述的TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,所述等效热导率 K_z 的计算公式为:

$$K_z = q_x \frac{\Delta z}{|\Delta T_z|}, \text{其中} q_x \text{为垂直方向的热通量,} \Delta T_z \text{为两平行截面之间的平均温度差,} \Delta z \text{为两平行截面的距离。}$$

为两平行截面的距离。

5. 根据权利要求1至4任一所述的TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,确定所述平均温度差的边界条件为:在垂直方向上的二维等效模型中,顶边施加一个均布热流,底边设置一个等温边界,其他两边设置为绝缘边界。

6. 一种用于执行如上述权利要求1至5任一所述方法的系统,其特征在于,至少包括:

第一建模模块,用于构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型;

第一数据处理模块,用于获取TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数;根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差;以及根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率;

其中,垂直方向二维等效模型中的等效参数根据组分在模型中的体积占比不变的原则进行确定。

7. 一种TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,包括:

构建考虑有介电层的TSV转接板水平方向上的二维等效模型,该二维等效模型中的等效参数与三维实际结构一致;

根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与水平方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差;

根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板水平方向的等效热导率。

8. 根据权利要求7所述的TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,所述等效热导率 $K_{x,y}$ 的计算公式为:

$$K_{x,y} = q_z \frac{\Delta x}{|\Delta T_x|},$$
其中 q_z 为水平方向的热通量, ΔT_x 为两平行截面之间的平均温度差, Δx 为

两平行截面的距离。

9. 根据权利要求7或8所述的TSV转接板等效热导率预测方法,其特征在于,确定所述平均温度差的边界条件为:在水平方向上的二维等效模型中,左侧边界施加一个均布热流,右侧边界设置一个等温边界,其他两边设置为绝缘边界。

10. 一种用于执行如上述权利要求7至9任一所述方法的系统,其特征在于,至少包括:

第二建模模块,用于构建考虑有介电层的TSV转接板水平方向上的二维等效模型;

第二数据处理模块,用于获取TSV孔中填充物及介电层在水平方向二维等效模型中的等效参数;根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与给定热流相对应的两平行截面之间的平均温度差;以及根据所述平均温度差、两平行截面的距离及所述热流参数计算得出TSV转接板水平方向的等效热导率;

其中,该水平方向二维等效模型中的等效参数与三维实际结构一致。

TSV转接板等效热导率预测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及微电子封装与热管理计算领域,尤其涉及一种TSV(Through Silicon Vias,通过硅片通道,又称硅通孔)转接板热导率预测方法及系统。

背景技术

[0002] 三维(Three-Dimension,3D)集成计算是目前被认为超越摩尔定律可持续实现小型化、高密度、多功能化的首选方案,而硅通孔(TSV)技术是三维集成的关键,可实现芯片与芯片间距离最短、间距最小的互连。然而,三维堆叠芯片使得单位面积的总功率增大,且薄芯片会导致芯片上产生过热点。因此,热管理是三维集成的一个重要问题,亟需低成本、高效率的热管理设计指引和解决方案。

[0003] 目前,即使拥有先进的软件和高速计算机硬件仍然很难对3D集成系统中的所有TSV进行详细建模。传统热管理一般都使用两种方法:1)基于理想假设的理论计算;2)基于实验的经验公式,或者将两者结合起来。对于第一种方法,实际情况往往比理想状态复杂的多,因此理论计算的结果和实际状态可能会有较大偏差。而对于第二种方法,由于3D集成封装形式与传统器件差异较大,实验很难得到堆叠器件内部热分布情况,且实验方法都很难适用于普遍场合。近些年随着计算机技术的发展,利用计算机程序对于TSV转接板/芯片进行有限元数值建模,计算TSV芯片等效热导率,再将TSV转接板/芯片简化为均匀块体,采用这些等效热导率进行仿真。目前,利用有限元方法计算TSV转接板/芯片的热导率主要采用二维等效模型和三维详细模型的两种方式。三维详细模型芯片的真实结构进行建模的,有较好的准确率,但计算效率低,对于非周期性、非均匀分布的结构,由于其结构太复杂,很难甚至无法进行模型构建和仿真。现有的二维等效模型都忽略了TSV结构中的介电阻挡层,而实践证明介电层对横向热导率影响很大,忽略后导致计算结果与实际情况严重不符。

[0004] 所以寻找适用、高效快速TSV转接板/芯片等效热导率计算方法,为解决3D集成封装芯片热管理问题提供基础支持。

发明内容

[0005] 本发明目的在于公开一种TSV转接板等效热导率预测方法及系统,为解决3D集成封装芯片热管理问题提供基础支持。

[0006] 为实现上述目的,本发明公开了一种TSV转接板等效热导率预测方法,包括:

[0007] 构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型;

[0008] 根据组分在模型中的体积占比不变的原则,分别计算TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数;

[0009] 根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差;

[0010] 根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率。

[0011] 对应的,本发明还公开一种用于执行上述方法的系统,至少包括:

[0012] 第一建模模块,用于构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型;

[0013] 第一数据处理模块,用于获取TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数;根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差;以及根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率;

[0014] 其中,垂直方向二维等效模型中的等效参数根据组分在模型中的体积占比不变的原则进行确定。

[0015] 为实现上述目的,本发明还公开了一种TSV转接板等效热导率预测方法,包括:

[0016] 构建考虑有介电层的TSV转接板水平方向上的二维等效模型,该二维等效模型中的等效参数与三维实际结构一致;

[0017] 根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与水平方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差;

[0018] 根据所述平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板水平方向的等效热导率。

[0019] 对应的,本发明还公开一种用于执行上述方法的系统,至少包括:

[0020] 第二建模模块,用于构建考虑有介电层的TSV转接板水平方向上的二维等效模型;

[0021] 第二数据处理模块,用于获取TSV孔中填充物及介电层在水平方向二维等效模型中的等效参数;根据所述二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与给定热流相对应的两平行截面之间的平均温度差;以及根据所述平均温度差、两平行截面的距离及所述热流参数计算得出TSV转接板水平方向的等效热导率;

[0022] 其中,该水平方向二维等效模型中的等效参数与三维实际结构一致。

[0023] 本发明具有以下有益效果:

[0024] 根据TSV转接板热导率各向异性的特征,可分别计算得出水平方向和垂直方向的等效热导率;采用的二维等效模型全面考虑了TSV转接板的实际结构和内部的传热路径,并考虑了介电层的作用,计算结果准确、可靠;与三维模型相比,在水平方向等效热导率计算误差小于1%,垂直方向上的误差小于2.5%,因此采用二维模型代替三维模型,既能较准确的预测等效热导率结果,又节省计算时间和内存消耗,极大的提高运算速度,使得仿真在普通个人PC上都能正常运行。

[0025] 下面将参照附图,对本发明作进一步详细的说明。

附图说明

[0026] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0027] 图1是本发明优选实施例的二维等效热导率计算模型;其中上部分为垂直方向的二维等效模型,下部分为水平方向的二维等效模型;

[0028] 图2为不同结构参数下二维等效模型计算水平方向等效热导率计算结果;

[0029] 图3为不同结构参数下二维等效模型计算垂直方向等效热导率计算结果;

[0030] 图4为三维等效热导率计算模型;其中左部分示意图为垂直方向的三维计算模型,

右部分为水平方向的三维计算模型；

[0031] 图5为三维和二维等效模型计算结果比较；

[0032] 图6为本发明实施例与图4左部分所示垂直方向的三维模型相对应的等效三维模型，其中间部分为填充铜，该模型与图1中垂直方向的二维模型相等效；

[0033] 图7为本发明实施例公开的一种TSV转接板等效热导率预测方法流程图；

[0034] 图8为本发明实施例公开的又一种TSV转接板等效热导率预测方法流程图。

具体实施方式

[0035] 以下结合附图对本发明的实施例进行详细说明，但是本发明可以由权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0036] 实施例1

[0037] 本实施例中，TSV转接板等效热导率预测方法以TSV芯片实际模型为建立水平方向和垂直方向的几何结构，基于热传导理论和计算流体力学为基础，通过有限元法分别计算TSV转接板的水平和垂直方向的等效热导率。其中本实施例中，该TSV转接板的介电层材料采用二氧化硅，TSV孔中填充物材料采用铜；当TSV孔中填充物及介电层被其他材料替换时，其处理方法类似，不做赘述。

[0038] 具体包括以下步骤：

[0039] 步骤(1)、根据TSV转接板的实际结构，分别构建水平方向和垂直方向上的二维等效模型。

[0040] 参阅图1及图4，为便于简化，本实施例中示意的TSV通孔是均匀分布的，其中图4中的三维模型可视为节距(pitch)相等的立方体，而柱状的TSV通孔位于该立方体的中央；其中，在水平方向及垂直方向的二维等效模型中，TSV的间距皆与三维实际结构中的间距相等。

[0041] 如图1所示，水平方向上的二维等效模型，直接根据三维实际结构中的尺寸确定二维等效模型中的TSV直径和SiO₂的厚度。

[0042] 而垂直方向的二维等效模型则需要根据组分在模型中的体积占比不变的原则，分别计算TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数；如图1所示，具体包括：

[0043] 根据组分在模型中的体积占比不变的原则，计算填充铜在二维等效模型中的长度， $l_{cu} = \frac{\pi d^2}{4pitch}$ ；以及根据组分在模型中的体积占比不变的原则，计算介电绝缘层(SiO₂)

在二维等效模型中的厚度， $t_{sio_2} = \frac{\pi(d_{sio_2}^2 - d^2)}{8pitch}$ ，其中d为填充物的直径(即介电层的内径)，

pitch为TSV转接板的节距， d_{sio_2} 为介电层的外径。

[0044] 本实施例中，所谓“根据组分在模型中的体积占比不变的原则”可进一步参阅图6，本实施例可视为将图4左部分的模型等效于图6，换言之，即将图4中的圆柱状的铜等效于图6中间部分正方体状的铜，藉此可得到下述等式：

$$[0045] \quad \frac{\pi d^2}{4(\text{pitch})^2} = \frac{l_{cu} \times \text{pitch}}{(\text{pitch})^2}$$

[0046] 其中该等式的左边就是中间铜柱的体积和整个正方体的体积比,只是都有相同的高度,高度就约掉了;等式右边为图6中的铜块与整个立方体的体积比。上述公式的简化形式即为:

$$[0047] \quad l_{cu} = \frac{\pi d^2}{4 \text{pitch}}$$

[0048] 关于介电层等效厚度的计算与之类似,不做赘述。

[0049] 步骤(2)、设置各材料的热参数。具体包括硅、介电层及填充物的热导率等。

[0050] 步骤(3)、设置边界条件和初始条件,求解整个域的温度场。初始条件如热通量,边界条件分为:在垂直方向上的二维等效模型中,顶边施加一个均布热流,底边设置一个等温边界,其他两边设置为绝缘边界;在水平方向上的二维等效模型中,左侧边界施加一个均布热流,后侧边界设置一个等温边界,其他两边设置为绝缘边界。可选的,该步骤可以在ANSYS软件环境下使用其Steady-state Thermal模块求解整个域的温度场,具体包括:根据垂直方向二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差,以及根据水平方向二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与水平方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差。

[0051] 步骤(4)、分别计算TSV转接板的等效热导率。

[0052] 该步骤中,构建等效热导率计算方程,可根据Fourier导热定律,导出等效热导率计算方程,直接求解得到不同方向的等效热导率:

$$[0053] \quad K_z = q_x \frac{\Delta z}{\Delta T_z}$$

$$[0054] \quad K_{xy} = q_z \frac{\Delta x}{\Delta T_x}$$

[0055] 其中, ΔT_z 为垂直方向上截面1和截面2的平均温度差, ΔT_x 为水平方向上截面3和截面4的平均温度差, q_x 为垂直方向的热通量, q_z 为水平方向的热通量。

[0056] 依托上述方法在不同结构参数下的水平及垂直方向的热导率的变化情况分别如图2及图3所示,由图可知:水平及垂直方向的等效热导率都随节距(又称“间距”)的增大而减小,随介电层厚度的增加而减小,以及还随TSV直径的增大而增大。如图5所示,将本发明中二维等效的预测方法与三维模型相比,在水平方向等效热导率计算误差小于1%,基本趋于重合,垂直方向上的误差小于2.5%,基本也趋于一致。

[0057] 综上,本实施例中的预测方法,一方面,如图7所示,包括:

[0058] 步骤71、构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型。

[0059] 步骤72、根据组分在模型中的体积占比不变的原则,分别计算TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数。

[0060] 其中,当TSV通孔为均匀分布时,填充物在垂直方向二维等效模型中的等效长度计算公式为:

[0061] $l_{cu} = \frac{\pi d^2}{4 pitch}$, 其中d为填充物的直径, pitch为TSV转接板的节距。

[0062] 对应的, 介电层在垂直方向二维等效模型中的等效厚度计算公式为:

[0063] $t_{sio_2} = \frac{\pi(d_{sio_2}^2 - d^2)}{8 pitch}$, 其中d为填充物的直径, pitch为TSV转接板的节距, d_{sio_2} 为介电层的外径。

[0064] 步骤73、根据二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差。其中, 在温度场中确定平均温度差的边界条件为: 在垂直方向上的二维等效模型中, 顶边施加一个均布热流, 底边设置一个等温边界, 其他两边设置为绝缘边界。

[0065] 步骤74、根据平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率。该等效热导率的计算公式可为:

[0066] $K_z = q_x \frac{\Delta z}{|\Delta T_z|}$, 其中 q_x 为垂直方向的热通量, ΔT_z 为两平行截面之间的平均温度差,

Δz 为两平行截面的距离。

[0067] 另一方面, 本实施例中的预测方法还包括, 如图8所示, 包括:

[0068] 步骤81、构建考虑有介电层的TSV转接板水平方向上的二维等效模型, 该二维等效模型中的等效参数与三维实际结构一致。

[0069] 步骤82、根据二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与水平方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差。其中, 在温度场中确定平均温度差的边界条件为: 在水平方向上的二维等效模型中, 左侧边界施加一个均布热流, 后侧边界设置一个等温边界, 其他两边设置为绝缘边界。

[0070] 步骤83、根据平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板水平方向的等效热导率。该等效热导率的计算公式可为:

[0071] $K_{x,y} = q_z \frac{\Delta x}{|\Delta T_x|}$, 其中 q_z 为水平方向的热通量, ΔT_x 为两平行截面之间的平均温度差,

Δx 为两平行截面的距离。

[0072] 本实施例所公开的上述预测方法, 根据TSV转接板热导率各向异性的特征, 可分别计算得出水平方向和垂直方向的等效热导率; 采用的二维等效模型全面考虑了TSV转接板的实际结构和内部的传热路径, 并考虑了介电层的作用, 计算结果准确、可靠; 与三维模型相比, 在水平方向等效热导率计算误差小于1%, 垂直方向上的误差小于2.5%, 因此采用二维模型代替三维模型, 既能较准确的预测等效热导率结果, 又节省计算时间和内存消耗, 极大的提高运算速度, 使得仿真在普通个人PC上都能正常运行。

[0073] 与上述预测方法相对应的, 本发明实施例还公开一种执行上述方法的相应系统。

[0074] 其中, 用于执行上述图7所示流程的系统至少包括:

[0075] 第一建模模块, 用于构建考虑有介电层的TSV转接板垂直方向上的二维等效模型;

[0076] 第一数据处理模块, 用于获取TSV孔中填充物及介电层在垂直方向二维等效模型中的等效参数; 根据二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与垂直方向热流相垂直的两平行截面之间的平均温度差; 以及根据平均温度差、两平行截

面的距离及热流参数计算得出TSV转接板垂直方向的等效热导率;

[0077] 其中,垂直方向二维等效模型中的等效参数根据组分在模型中的体积占比不变的原则进行确定。

[0078] 用于执行上述图8所示流程的系统包括:

[0079] 第二建模模块,用于构建考虑有介电层的TSV转接板水平方向上的二维等效模型;

[0080] 第二数据处理模块,用于获取TSV孔中填充物及介电层在水平方向二维等效模型中的等效参数;根据二维等效模型中的等效参数及硅、介电层及填充物的热导率仿真得出与给定热流相对应的两平行截面之间的平均温度差;以及根据平均温度差、两平行截面的距离及热流参数计算得出TSV转接板水平方向的等效热导率;

[0081] 其中,该水平方向二维等效模型中的等效参数与三维实际结构一致。

[0082] 通常,上述各模块可以集成在同一软件系统下,其对应的等效计算及仿真可参照上述方法实施例的描述,不做赘述。

[0083] 同理,本实施例所公开的上述系统,根据TSV转接板热导率各向异性的特征,可分别计算得出水平方向和垂直方向的等效热导率;采用的二维等效模型全面考虑了TSV转接板的实际结构和内部的传热路径,并考虑了介电层的作用,计算结果准确、可靠;与三维模型相比,在水平方向等效热导率计算误差小于1%,垂直方向上的误差小于2.5%,因此采用二维模型代替三维模型,既能较准确的预测等效热导率结果,又节省计算时间和内存消耗,极大的提高运算速度,使得仿真在普通个人PC上都能正常运行。

[0084] 值得说明的是,本发明上述的TSV转接板的等效热导率的计算方法同样适用于TSV芯片(即在上述TSV转接板上进一步部署有集成电路)的等效热导率的处理,即在本发明所公开的上述转接板的等效热导率处理技术上再考虑该集成电路的额外散热,因此,至少可为TSV芯片的等效热导率计算提供借鉴。

[0085] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的计算人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

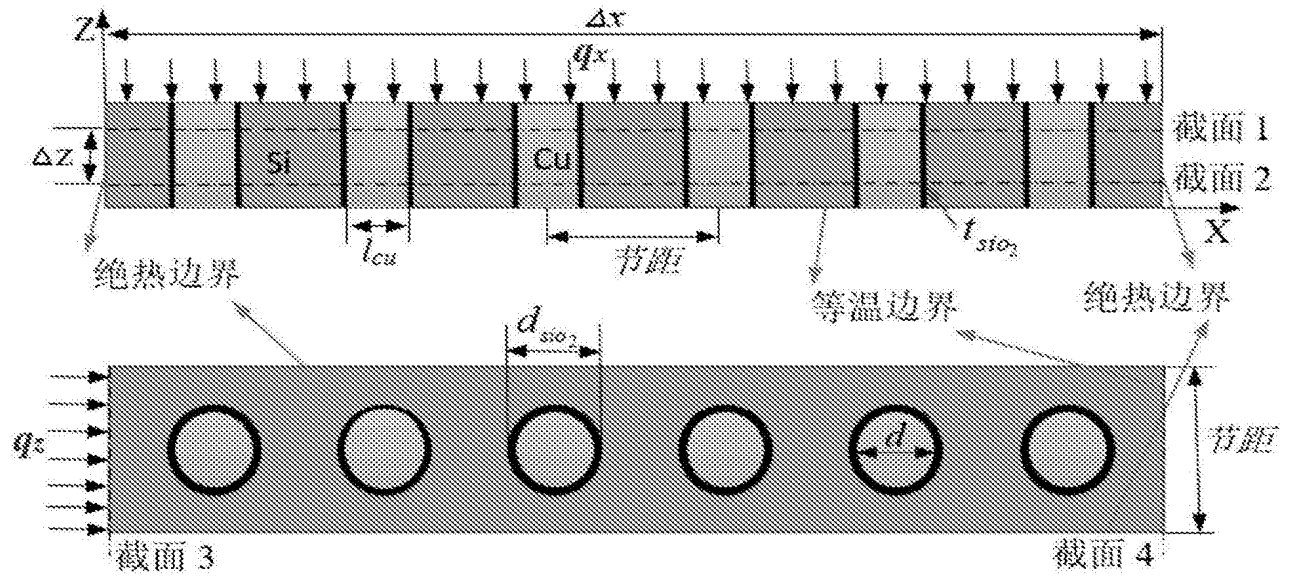


图1

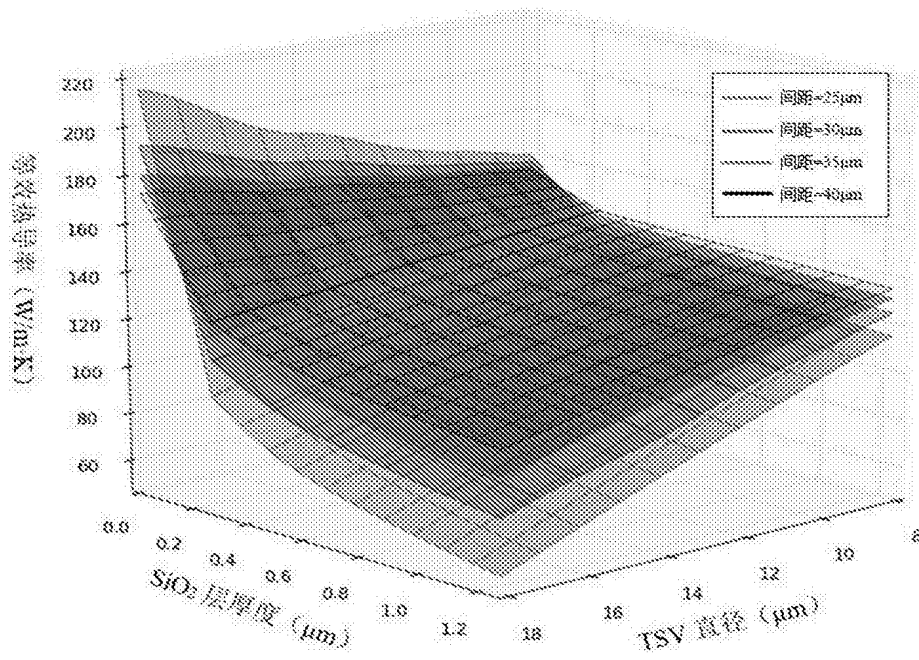


图2

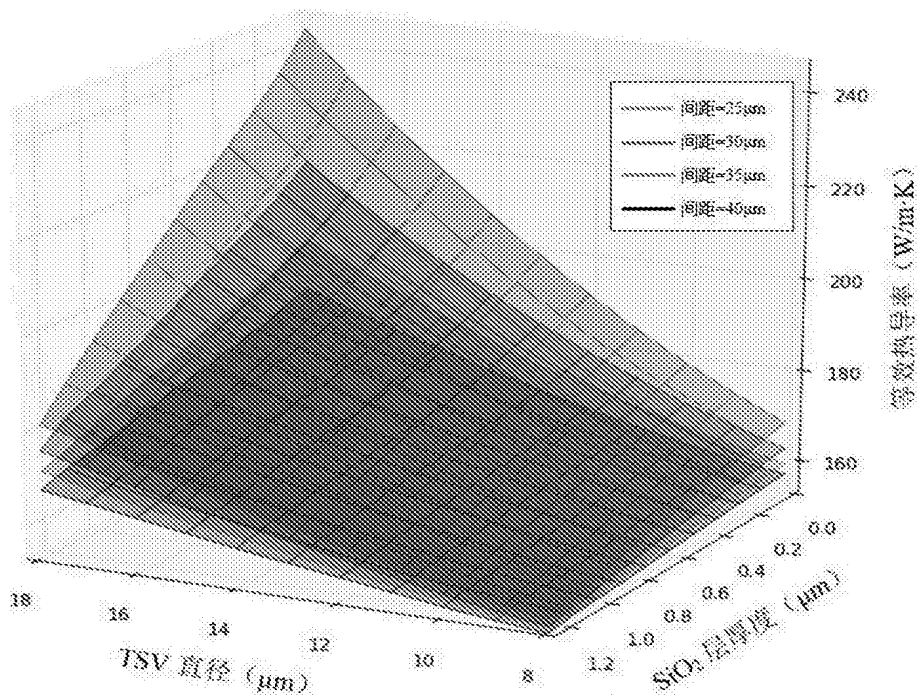


图3

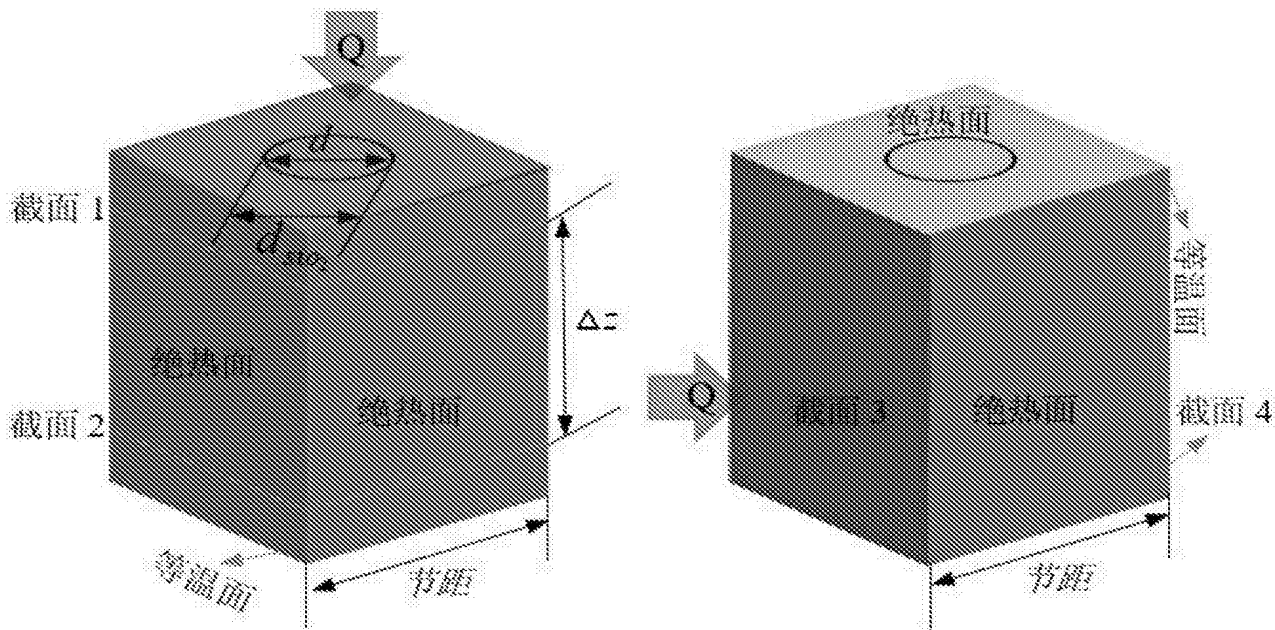


图4

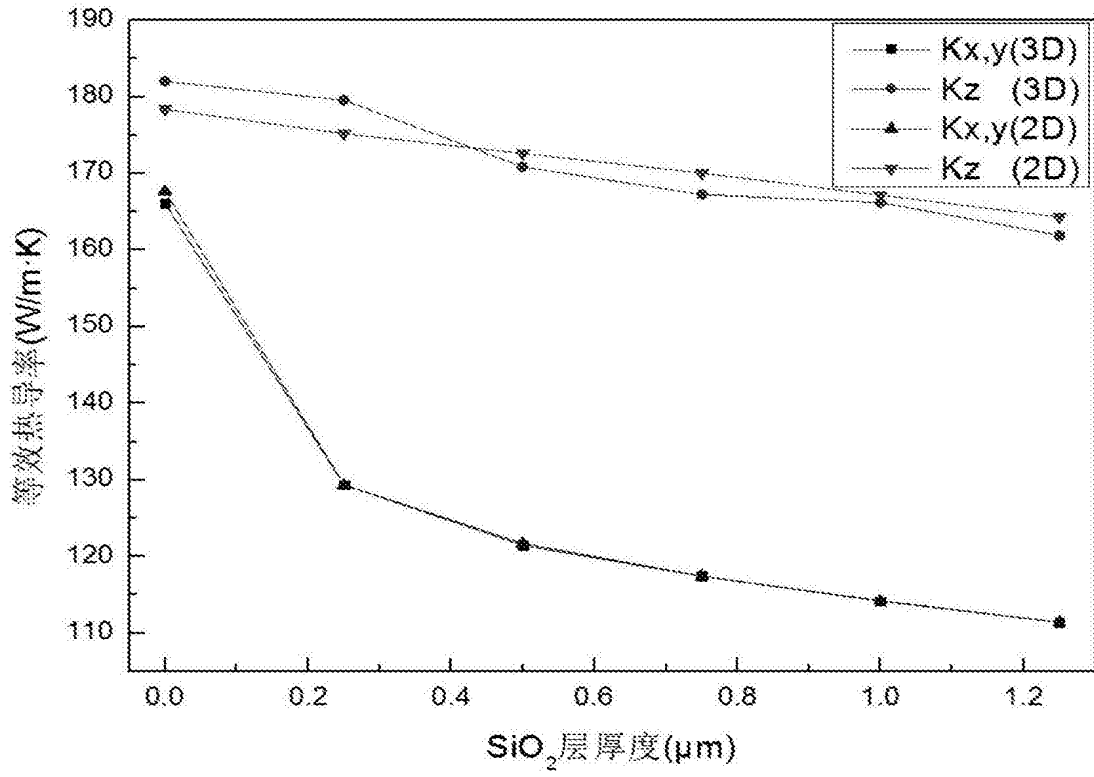


图5

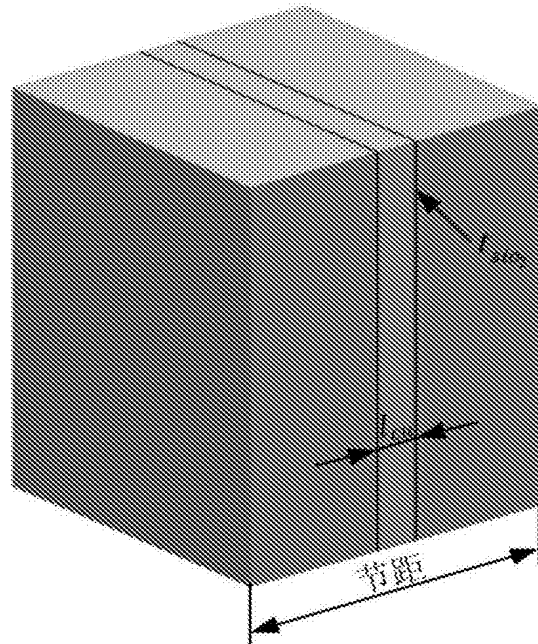


图6

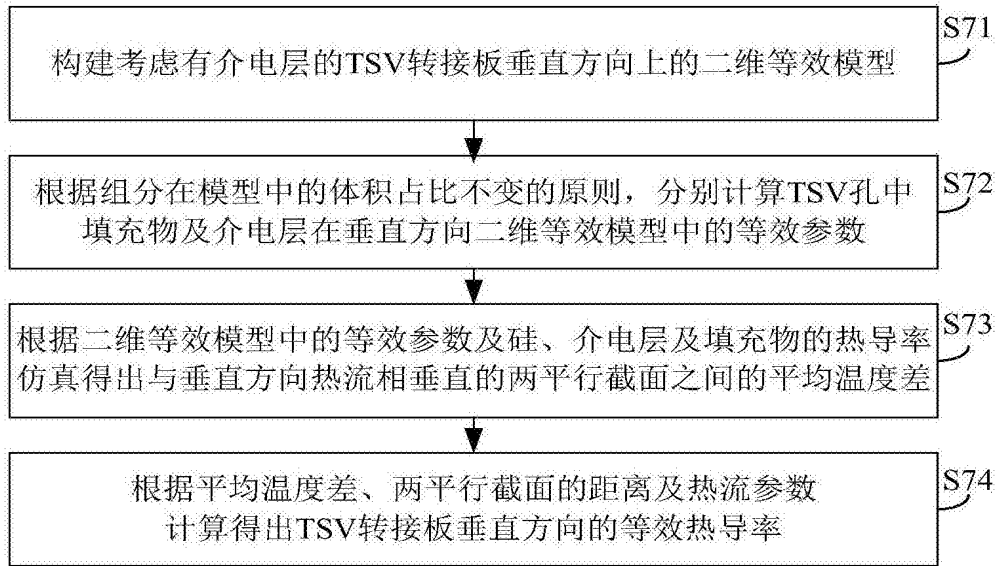


图7

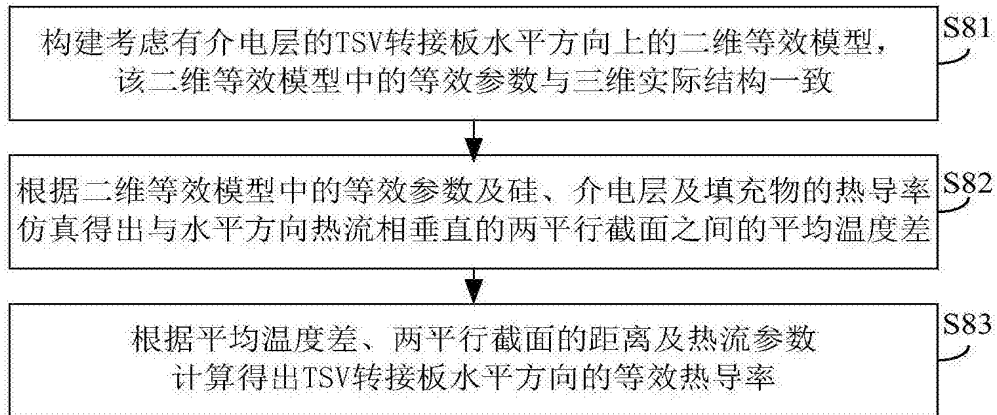


图8