

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 9 月 17 日 (17.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/181568 A1

- (51) 国际专利分类号:
H01L 35/32 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/078587
- (22) 国际申请日: 2019 年 3 月 19 日 (19.03.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910179839.9 2019年3月11日 (11.03.2019) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 汪若尘 (WANG, Ruochen); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 罗丁 (LUO, Ding); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 余未 (YU, Wei); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 周卫琪 (ZHOU, Weiqi); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 陈龙 (CHEN, Long); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条 (3))。

(54) **Title:** ASYMMETRICAL P-N JUNCTION THERMOCOUPLE STRUCTURE AND PARAMETER DETERMINATION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种非对称的 PN 结热电偶结构及其参数确定方法

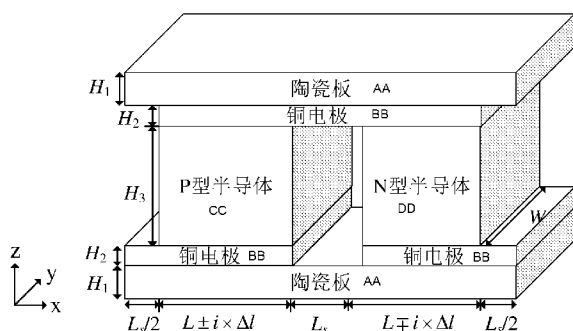


图 1

AA Ceramic plate
BB Copper electrode
CC P-type semiconductor
DD N-type semiconductor

(57) **Abstract:** Disclosed by the present invention are an asymmetrical p-n junction thermocouple structure and a parameter determination method therefor; in the present invention, currents generated by a p-type semiconductor and an n-type semiconductor are made equal by means of changing the structural parameters of the p-type semiconductor and the n-type semiconductor, which thereby achieves the highly efficient output of a p-n junction thermocouple. At the same time, provided by the present invention on the basis of a numerical solution method is a p-n junction parameter determination method, by which p-n junction parameters of the optimal size are obtained.

(57) **摘要:** 本发明公开一种非对称的 PN 结热电偶结构及其参数确定方法, 本发明通过改变 P 型半导体或 N 型半导体的结构参数, 使得 P 型半导体和 N 型半导体产生的电流相等, 实现 PN 结热电偶的高效输出。同时, 本发明基于数值求解方法提供一种 PN 结参数确定方法, 得到 PN 结的最优尺寸参数。

WO 2020/181568 A1

一种非对称的PN结热电偶结构及其参数确定方法

技术领域

本发明属于热电转换、热能回收领域，具体涉及一种非对称的PN结热电偶结构及其参数确定方法，相比传统对称的PN结热电偶结构，本发明能提升PN结热电偶的输出性能，提高其热电转换效率。

背景技术

近年来，能源问题不断加剧，各国纷纷出台相关政策控制石油、煤、天然气等不可再生能源的开采和利用，如上调石油价格、推广新能源车辆等。另一方面，核电、水电、风电、光伏和热电等能源技术不需要消耗化石燃料，受到国内外的广泛关注，其中，光伏和热电是利用半导体在太阳辐射和温差的作用下产生的载流子定向移动而进行发电的清洁能源技术，其具有永久性、清洁性和无运动部件等优点。现阶段，光伏技术的发展较快，已取得较为成熟的应用，而热电技术受限于高昂的材料成本和较低的转换效率，尚处于商业化的发展阶段。

得益于现代技术的发展，热电材料的性能取得了很大程度的提升，热电技术开始被广泛应用于热能回收领域，如汽车尾气余热回收、工业废热回收等。另外，由于单一PN结热电偶的输出电压较低，一般将许多个PN结串联组成温差发电片，使输出电压达到能够回收利用的能级水平。然而，温差发电片仅是众多PN结相互串联的组合物，研究中常对其简化，以单个PN结为研究对象进行结构优化，实现更高的输出功率和热电转换效率，如六角状半导体结构、分段式半导体材料和金字塔型半导体结构等。但是，这些结构优化方法忽略了PN结是由P型半导体和N型半导体通过串联形成的本质，P型半导体和N型半导体都采用相同的结构尺寸和相同数量的热电材料，在实际应用中，为了使P型半导体富含空穴，而N型半导体富含电子，P极和N极使用的热电材料和掺杂浓度有所差异，造成P极和N极的热电材料参数不一致。当PN结在同一温差下工作时，P极和N极产生的电流密度不一样，使得PN结整体的输出电流受限于其中一个较小的电流密度。

发明内容

本发明的目的在于提供一种非对称的PN结热电偶结构及其参数确定方法，用来克服由于P型半导体和N型半导体材料参数不一致引起的PN结整体输出电流受限的问题，提升PN结热电偶整体的输出与热电转化效率，在相同热电材料使用量的情况下实现更高的输出性

能。

本发明的目的通过如下技术方案实现：

一种非对称的 PN 结热电偶结构，包括相对设置的陶瓷板、铜电极、高度相同的 P 型半导体和 N 型半导体，所述 P 型半导体和 N 型半导体上下端通过铜电极串联后，夹于上下陶瓷板中间，其中 P 型半导体的长度 L_P 和 N 型半导体的长度 L_N 的长度值和为 $2L$ ， L 是 P 型、N 型半导体初始长度；所述 P 型半导体的长度 L_P 为 $L \pm i \times \Delta l$ ，N 型半导体的长度 L_N 为 $L \mp i \times \Delta l$ ， i 为待确定的迭代次数， Δl 为 P 型半导体、N 型半导体每次迭代计算时的长度变化值；与 P 型半导体和 N 型半导体上端连接的铜电极总长度为 $2L + L_s$ ，其中 L_s 为 P 型半导体和 N 型半导体之间的间距；与 P 型半导体下端接触的铜电极的长度为 $L_P + \frac{L_s}{2}$ ，与 N 型半导体下端接触的铜电极的长度为 $L_N + \frac{L_s}{2}$ 。

一种非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法，计算 P 型半导体和 N 型半导体的电阻率积分中值 $\overline{\rho_p}$ 和 $\overline{\rho_N}$ 值，确定 P 型半导体和 N 型半导体的长度大小关系，建立 PN 结热电偶结构的微分方程组，设置边界条件计算 P 型和 N 型半导体的帕尔贴热，设置电流边界条件将负载电阻与铜电极连接，设置温度边界条件加载温度，最终计算得到负载电阻两端的输出电压，得到 PN 结热电偶的输出功率。

进一步，若 $\overline{\rho_p} > \overline{\rho_N}$ ，则 P 型半导体的长度 L_P 为 $L + i \times \Delta l$ ，N 型半导体的长度 L_N 为 $L - i \times \Delta l$ ；若 $\overline{\rho_p} < \overline{\rho_N}$ ，则 P 型半导体的长度 L_P 为 $L - i \times \Delta l$ ，N 型半导体的长度 L_N 为 $L + i \times \Delta l$ ；若 $\overline{\rho_p} = \overline{\rho_N}$ ，则 P 型半导体的长度等于 N 型半导体的长度为 $L_P = L_N = L$ 。

进一步，确定 $\overline{\rho_p} > \overline{\rho_N}$ 和 $\overline{\rho_p} < \overline{\rho_N}$ 时的 P 型半导体和 N 型半导体长度，具体过程为：选定 Δl ， $\Delta l < \frac{L}{10}$ ，计算当 $i=0, 1$ 时 PN 结热电偶整体的输出功率 P_0 和 P_1 ，判断是否满足 $P_0 < P_1$ ，若是则 $i=i+1$ ，返回重新计算 PN 结热电偶整体的输出功率 P_i ，再次判断是否满足 $P_i < P_{i+1}$ ，直到 $P_i \geq P_{i+1}$ 时停止循环。

进一步，所述计算帕尔贴热的边界条件为：

P 型半导体和 N 型半导体与下端铜电极的接触面上，下端铜电极与 P 型半导体、N 型半导体接触面上的温度相等，即： $T_{co}|_{z=H_1+H_2} = T_{P,N}|_{z=H_1+H_2}$ ，下端铜电极的热传导等于 P 型半导体和 N 型半导体热传导加上 P 型半导体和 N 型半导体的帕尔贴热，即：

$-\lambda_{co} \frac{\partial T_{co}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2} = -\lambda_{P,N} \frac{\partial T_{P,N}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2} + \alpha_{P,N} T \vec{J}_z \Big|_{z=H_1+H_2}$ ，其中 $z = H_1 + H_2$ 表示接触面的坐标轴位置；

P 型半导体和 N 型半导体与上端铜电极的接触面上，上端铜电极与 P 型半导体、N 型半导体接触面上的温度相等，即： $T_{co} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} = T_{P,N} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3}$ ，上端铜电极的热传导等于 P 型半导体和 N 型半导体热传导加上 P 型半导体和 N 型半导体的帕尔贴热，即：

$-\lambda_{P,N} \frac{\partial T_{P,N}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} + \alpha_{P,N} T \vec{J}_z \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} = -\lambda_{co} \frac{\partial T_{co}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3}$ ，其中 $z = H_1 + H_2 + H_3$ 表示接触面的坐标轴位置。

进一步，所述电流边界条件为：下端铜电极的左侧端面和电阻的左侧端面上，将面设置为接地，即电压为 0；下端铜电极的右侧端面和电阻的右侧端面上，将面设置为电接触，即电压相等。

进一步，所述温度边界条件为：PN 结热电偶与环境的接触壁面设置为绝热边界，下陶瓷板的底面设置为高温边界，上陶瓷板的顶面设置为低温边界。

本发明的有益效果为：

本发明提供一种非对称的 PN 结热电偶结构及其参数优化方法，所述非对称 PN 结热电偶结构的 P 型半导体和 N 型半导体具有不同的横截面积，其中 P 型半导体的长度为 $L \pm i \times \Delta l$ ，N 型半导体的长度为 $L \mp i \times \Delta l$ ，通过求解 PN 结热电偶的微分方程组得到 PN 结的整体输出功率，选取合适的 Δl 值，迭代求解 i 次，最终得到 PN 结热电偶的最大输出功率，从而确定 P 型半导体和 N 型半导体的长度尺寸，本发明能提高 PN 结热电偶的输出功率，并指导传统的 PN 结热电偶结构进行优化，节约热电材料，一定程度上降低温差发电片的材料成本。

附图说明

图1为非对称的PN结热电偶结构示意图；

图2为非对称的PN结热电偶结构的参数计算流程图；

图3为壁面边界条件定义图；

图4为PN结热电偶的输出电流随半导体长度变化关系图；

图5为PN结热电偶的输出电压随半导体长度变化关系图；

图6为PN结热电偶的输出功率随半导体长度变化关系图。

具体实施方式

下面结合附图、具体的PN结热电偶结构及其材料参数，来说明本发明的技术方案。

如图1所示，一种非对称的PN结热电偶结构，包括陶瓷板、铜电极、P型半导体和N型半导体；所述P型半导体和N型半导体通过铜电极串联连接，并夹于陶瓷板之间；所述陶瓷板、铜电极和P型半导体的高度分别为 H_1 、 H_2 和 H_3 ，N型半导体的高度等于P型半导体的高度；所述陶瓷板、铜电极、P型半导体和N型半导体的宽度均为 W ；所述陶瓷板的长度为 $2L+2L_s$ ，其中， L_s 为P型半导体和N型半导体之间的间距，上端铜电极的长度为 $2L+L_s$ ，P型半导体的长度 L_P 为 $L\pm i\times\Delta l$ ，N型半导体的长度 L_N 为 $L\mp i\times\Delta l$ ，下端两个铜电极的长度分别等于与其相连半导体的长度加 $L_s/2$ ；其中 L 是P型、N型半导体初始长度， i 为待确定的迭代次数， Δl 为P型半导体、N型半导体每次迭代计算时的长度变化值。

如图2所示，一种非对称的PN结热电偶结构的参数确定方法具体实施步骤如下：

步骤1，计算P型半导体和N型半导体的电阻率积分中值 $\overline{\rho_P}$ 和 $\overline{\rho_N}$ 值，确定P型半导体和N型半导体的长度大小关系

(1) 计算P型半导体的电阻率积分中值 $\overline{\rho_P}$ ：

$$\overline{\rho_P} = \frac{\int_{T_c}^{T_h} \rho_P(T) dT}{T_h - T_c} \quad (1)$$

式中， T_h 和 T_c 分别为PN结热电偶的热端温度和冷端温度， $\rho_P(T)$ 为P型半导体的电阻率；

(2) 计算N型半导体的电阻率积分中值 $\overline{\rho_N}$ ：

$$\overline{\rho_N} = \frac{\int_{T_c}^{T_h} \rho_N(T) dT}{T_h - T_c} \quad (2)$$

式中， $\rho_N(T)$ 为N型半导体的电阻率；

(3) 如果 $\overline{\rho_P} > \overline{\rho_N}$ ，则P型半导体的长度 L_P 为 $L+i\times\Delta l$ ，N型半导体的长度 L_N 为 $L-i\times\Delta l$ ，如果 $\overline{\rho_P} < \overline{\rho_N}$ ，则P型半导体的长度 L_P 为 $L-i\times\Delta l$ ，N型半导体的长度 L_N 为 $L+i\times\Delta l$ ，如果 $\overline{\rho_P} = \overline{\rho_N}$ ，则P型半导体的长度等于N型半导体的长度为 $L_P=L_N=L$ 。

步骤2，建立PN结热电偶遵循的微分方程组

(1) P型半导体的能量守恒方程为：

$$\nabla \cdot (\lambda_p(T) \nabla T_p) = -\rho_p(T) \bar{J}^2 + \nabla \alpha_p(T) \bar{J} T_p \quad (3)$$

式中, $\bar{J}$ 为电流密度矢量, T 为温度, T_p 为 P 型半导体的温度;

(2) N 型半导体的能量守恒方程为:

$$\nabla \cdot (\lambda_N(T) \nabla T_N) = -\rho_N(T) \bar{J}^2 + \nabla \alpha_N(T) \bar{J} T_N \quad (4)$$

式中, T_N 为 N 型半导体的温度;

(3) 铜电极的能量守恒方程为:

$$\nabla \cdot (\lambda_{co} \nabla T) = -\rho_{co} \bar{J}^2 \quad (5)$$

式中, λ_{co} 和 ρ_{co} 分别是铜电极的热导率和电阻率;

(4) 陶瓷板的能量守恒方程为:

$$\nabla \cdot (\lambda_{ce} \nabla T) = 0 \quad (6)$$

式中, λ_{ce} 为陶瓷板的热导率;

(5) 另外, P 型和 N 型半导体的电场密度矢量为:

$$\bar{E} = -\nabla \phi + \alpha \nabla T \quad (7)$$

式中, $\bar{E}$ 为电场密度矢量, ϕ 是电势差, α 为塞贝克系数;

(6) P 型和 N 型半导体、铜电极和电阻满足电流守恒方程:

$$\bar{J} = \frac{1}{\rho} \bar{E} \quad (8)$$

$$\nabla \bar{J} = 0 \quad (9)$$

式中, ρ 为材料的电阻率。

步骤3, 如图3所示, 对PN结热电偶的壁面A、B、C、D、E、F、G、H、I、J进行边界条件设置, 其中, 面A、G、I、J为电压边界, 将热电偶与负载电阻串联连接; 面B、C、E、F为帕尔贴热边界, 计算P型半导体、N型半导体与铜电极接触面的帕尔贴热; 面D、H为温度边界, 在两端施加温度载荷;

(1) P 型半导体和 N 型半导体与下端铜电极的接触面 B 和 F 上, 满足方程:

下端铜电极与 P 型半导体、N 型半导体接触面上的温度相等, 即:

$$T_{co} \Big|_{z=H_1+H_2} = T_{P,N} \Big|_{z=H_1+H_2} \quad (10)$$

下端铜电极的热传导等于 P 型半导体和 N 型半导体热传导加上 P 型半导体和 N 型半导体的帕尔贴热，即：

$$-\lambda_{co} \frac{\partial T_{co}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2} = -\lambda_{P,N} \frac{\partial T_{P,N}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2} + \alpha_{P,N} T \vec{J}_z \Big|_{z=H_1+H_2} \quad (11)$$

其中， $z = H_1 + H_2$ 表示接触面 B、F 的坐标轴位置；

(2) P 型半导体和 N 型半导体与上端铜电极的接触面 C 和 E 上，满足方程：

上端铜电极与 P 型半导体、N 型半导体接触面上的温度相等，即：

$$T_{co} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} = T_{P,N} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} \quad (12)$$

上端铜电极的热传导等于 P 型半导体和 N 型半导体热传导加上 P 型半导体和 N 型半导体的帕尔贴热，即：

$$-\lambda_{co} \frac{\partial T_{co}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} = -\lambda_{P,N} \frac{\partial T_{P,N}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} + \alpha_{P,N} T \vec{J}_z \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} \quad (13)$$

其中， $z = H_1 + H_2 + H_3$ 表示接触面 C、E 的坐标轴位置；

(3) 负载电阻和铜电极连接的电流边界条件为：

下端铜电极的左侧端面 A 和电阻的左侧端面 J 上，将壁面 A、J 设置为接地，即电压为 0；下端铜电极的右侧端面 G 和电阻的右侧端面 I 上，将壁面 G、I 设置为电接触，即电压相等；

(4) 温度边界条件为：

PN 结热电偶与环境的接触壁面设置为绝热边界，下陶瓷板的底面 H 设置为高温边界，即面 H 的温度为 T_H ，上陶瓷板的顶面 D 设置为低温边界，即面 D 的温度为 T_C 。

步骤4，选定 Δl ，且 Δl 满足 $\Delta l < \frac{L}{10}$ ，根据上述微分方程组和边界条件设置，利用有限元软件 ANSYS 可计算得到负载电阻两端的输出电压 U_L ，根据公式 $P = U_L^2 / R_L$ ，计算得到当 $i=0$ 和 $i=1$ 时的 PN 结热电偶整体的输出功率 P_0 和 P_1 ，判断是否满足 $P_0 < P_1$ ，若是则 $i=i+1$ ，返回重新计算 PN 结热电偶整体的输出功率 P_i ，再次判断是否满足 $P_i < P_{i+1}$ ，直到 $P_i \geq P_{i+1}$ 时停止循环，得到 $\overline{\rho_P} > \overline{\rho_N}$ 时的 P 型半导体的长度为 $L_P = L + i \times \Delta l$ 、N 型半导体的长度为 $L_N = L - i \times \Delta l$ ， $\overline{\rho_P} < \overline{\rho_N}$ 时的 P 型半导体的长度为 $L_P = L - i \times \Delta l$ 、N 型半导体的长度为 $L_N = L + i \times \Delta l$ 。

本实例的PN结热电偶使用的热电材料为BiSbTeSe基材料，BiSbTeSe基P型和N型半导体的热电材料参数在表1中列出。

表1 BiSbTeSe基P型半导体和N型半导体的热电材料参数

参数	P型半导体	N型半导体
塞贝克系数($\mu\text{V}/\text{K}$)	$3.064 \times 10^{-7} T^4$	$1.055 \times 10^{-7} T^4$
	$-4.976 \times 10^{-4} T^3 + 0.287 \times T^2$	$-1.639 \times 10^{-4} T^3 + 9.549 \times 10^{-2} T^2$
	$-69.799 \times T + 6253.741$	$-24.881 T + 2303.862$
热导率($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	$3.612 \times 10^{-10} T^4$	$-2.469 \times 10^{-10} T^4$
	$-5.247 \times 10^{-7} T^3 + 2.636 \times 10^{-4} T^2$	$+3.907 \times 10^{-7} T^3 - 2.241 \times 10^{-4} T^2$
	$-5.156 \times 10^{-2} T + 3.420$	$+5.413 \times 10^{-2} T - 3.804$
电阻率($10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$)	$4.429 \times 10^{-8} T^4$	$1.317 \times 10^{-8} T^4$
	$-9.118 \times 10^{-5} T^3 + 6.777 \times 10^{-2} T^2$	$-2.087 \times 10^{-5} T^3 + 1.236 \times 10^{-2} T^2$
	$-21.579 T + 2526.630$	$-3.204 T + 315.218$

另外，PN结的相关尺寸参数及其他参数在表2中列出。

表2 PN结尺寸参数及其他参数

参数	值
陶瓷板高度 H_1 (mm)	0.8
铜电极高度 H_2 (mm)	0.2
P型、N型半导体高度 H_3 (mm)	1.4
P型、N型半导体初始长度 L (mm)	1.7
P型、N型半导体间距 L_s (mm)	0.8
宽度 W (mm)	1.7
负载电阻长*宽*高 (mm)	5*1*1
陶瓷板热导率 λ_{ce} (W/m.k)	18
铜电极热导率 λ_{co} (W/m.k)	397
铜电极电阻率 ρ_{co} ($\Omega \cdot \text{m}$)	1.75×10^{-8}
负载电阻电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	1×10^{-5}
PN结热端温度 T_H (K)	500
PN结冷端温度 T_C (K)	300

计算 P 型半导体和 N 型半导体的电阻率积分中值 $\overline{\rho_p}$ 和 $\overline{\rho_N}$ ，并由公式 (1) 和公式 (2) 计算可得： $\overline{\rho_p} = 4.11 \times 10^{-5}$ ， $\overline{\rho_N} = 1.36 \times 10^{-5}$ ，因为 $\overline{\rho_p} > \overline{\rho_N}$ ，所以 P 型半导体的长度为 $L_p = L + i \times \Delta l$ ，N 型半导体的长度为 $L_N = L - i \times \Delta l$ ；选取 $\Delta l = 0.1\text{mm}$ ，计算 PN 结的输出参数，进一步确定 P 型半导体和 N 型半导体的长度。

图4、图5、图6分别为计算得到的PN结热电偶输出电流、输出电压、输出功率随半导体长度变化关系图，由图可知，当 $i=5$ 时，满足 $P_5 \geq P_6$ 条件，停止循环，此时的PN结热电偶输出功率达到最大，即最终确定P型半导体的长度为 $L_p = 2.2\text{mm}$ ，N型半导体的长度为 $L_N = 1.2\text{mm}$ 。相比传统的PN结热电偶结构 ($i=0$ 时)，优化后的PN结在使用相同数量热电材料的情况下，输出电流和输出电压提升了2.33%，输出功率提升了4.71%。

以上依据本发明的技术方案详细描述了具体实施方式。根据本发明的技术方案在不变更本发明的实质精神下，本领域的一般技术人员可以提出可相互替换的多种结构方式以及实现方式。因此，上文描述的具体实施方式以及附图仅是对本发明的技术方案的示例性说明，而不应当视为本发明的全部或者视为对本发明技术方案的限定或限制。

权 利 要 求 书

1.一种非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法,其特征在于,计算 P 型半导体和 N 型半导体的电阻率积分中值 $\overline{\rho_p}$ 和 $\overline{\rho_n}$, 确定 P 型半导体和 N 型半导体的长度大小关系, 建立 PN 结热电偶结构的微分方程组, 设置边界条件计算 P 型和 N 型半导体的帕尔贴热, 设置电流边界条件将负载电阻与铜电极连接, 设置温度边界条件加载温度, 最终计算得到负载电阻两端的输出电压, 得到 PN 结热电偶的输出功率。

2.根据权利要求 1 所述的非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法, 其特征在于, 若 $\overline{\rho_p} > \overline{\rho_n}$, 则 P 型半导体的长度 L_P 为 $L+i \times \Delta l$, N 型半导体的长度 L_N 为 $L-i \times \Delta l$; 若 $\overline{\rho_p} < \overline{\rho_n}$, 则 P 型半导体的长度 L_P 为 $L-i \times \Delta l$, N 型半导体的长度 L_N 为 $L+i \times \Delta l$; 若 $\overline{\rho_p} = \overline{\rho_n}$, 则 P 型半导体的长度等于 N 型半导体的长度为 $L_P=L_N=L$ 。

3.根据权利要求 2 所述的非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法, 其特征在于, 确定 $\overline{\rho_p} > \overline{\rho_n}$ 和 $\overline{\rho_p} < \overline{\rho_n}$ 时的 P 型半导体和 N 型半导体长度, 具体过程为: 选定 Δl , $\Delta l < \frac{L}{10}$, 计算当 $i=0, 1$ 时 PN 结热电偶整体的输出功率 P_0 和 P_1 , 判断是否满足 $P_0 < P_1$, 若是则 $i=i+1$, 返回重新计算 PN 结热电偶整体的输出功率 P_i , 再次判断是否满足 $P_i < P_{i+1}$, 直到 $P_i \geq P_{i+1}$ 时停止循环。

4.根据权利要求 1 所述的非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法, 其特征在于, 所述计算帕尔贴热的边界条件为:

P 型半导体和 N 型半导体与下端铜电极的接触面 (B) 和 (F) 上, 下端铜电极与 P 型半导体、N 型半导体接触面上的温度相等, 即: $T_{co}|_{z=H_1+H_2} = T_{P,N}|_{z=H_1+H_2}$, 下端铜电极的热传导等于 P 型半导体和 N 型半导体热传导加上 P 型半导体和 N 型半导体的帕尔贴热, 即:

$$-\lambda_{co} \frac{\partial T_{co}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2} = -\lambda_{P,N} \frac{\partial T_{P,N}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2} + \alpha_{P,N} T \bar{J}_z \Big|_{z=H_1+H_2}, \text{ 其中 } z=H_1+H_2 \text{ 表示接触面 (B)、(F)}$$

的坐标轴位置;

P 型半导体和 N 型半导体与上端铜电极的接触面 (C) 和 (E) 上, 上端铜电极与 P 型半导体、N 型半导体接触面上的温度相等, 即: $T_{co}|_{z=H_1+H_2+H_3} = T_{P,N}|_{z=H_1+H_2+H_3}$, 上端铜电极的热传导等于 P 型半导体和 N 型半导体热传导加上 P 型半导体和 N 型半导体的帕尔贴热, 即:

$$-\lambda_{P,N} \frac{\partial T_{P,N}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} + \alpha_{P,N} T \bar{J}_z \Big|_{z=H_1+H_2+H_3} = -\lambda_{co} \frac{\partial T_{co}}{\partial z} \Big|_{z=H_1+H_2+H_3}, \text{ 其中 } z = H_1 + H_2 + H_3 \text{ 表示接触}$$

面 (C)、(E) 的坐标轴位置。

5. 根据权利要求 1 所述的非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法, 其特征在于, 所述电流边界条件为: 下端铜电极的左侧端面 (A) 和电阻的左侧端面 (J) 上, 将面 (A)、(J) 设置为接地, 即电压为 0; 下端铜电极的右侧端面 (G) 和电阻的右侧端面 (I) 上, 将面 (G)、(I) 设置为电接触, 即电压相等。

6. 根据权利要求 1 所述的非对称的 PN 结热电偶结构的参数确定方法, 其特征在于, 所述温度边界条件为: PN 结热电偶与环境的接触壁面设置为绝热边界, 下陶瓷板的底面 (H) 设置为高温边界, 上陶瓷板的顶面 (D) 设置为低温边界。

7. 一种根据权利要求 1-6 任一所述的非对称的 PN 结热电偶结构, 其特征在于, 包括相对设置的陶瓷板、铜电极、高度相同的 P 型半导体和 N 型半导体, 所述 P 型半导体和 N 型半导体上下端通过铜电极串联后, 夹于上下陶瓷板中间, 其中 P 型半导体的长度 L_P 和 N 型半导体的长度 L_N 的长度值和为 $2L$, L 是 P 型、N 型半导体初始长度。

8. 根据权利要求 7 所述的非对称的 PN 结热电偶结构, 其特征在于, 所述 P 型半导体的长度 L_P 为 $L \pm i \times \Delta l$, N 型半导体的长度 L_N 为 $L \mp i \times \Delta l$, i 为待确定的迭代次数, Δl 为 P 型半导体、N 型半导体每次迭代计算时的长度变化值。

9. 根据权利要求 8 所述的非对称的 PN 结热电偶结构, 其特征在于, 与 P 型半导体和 N 型半导体上端接触的铜电极总长度为 $2L + L_s$, 其中 L_s 为 P 型半导体和 N 型半导体之间的间距。

10. 根据权利要求 9 所述的非对称的 PN 结热电偶结构, 其特征在于, 与 P 型半导体下端接触的铜电极的长度为 $L_P + \frac{L_s}{2}$, 与 N 型半导体下端接触的铜电极的长度为 $L_N + \frac{L_s}{2}$ 。

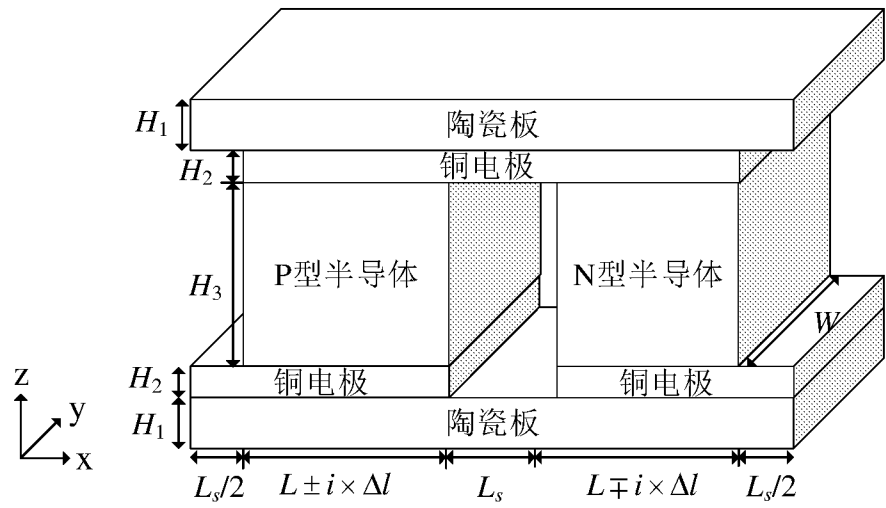


图 1

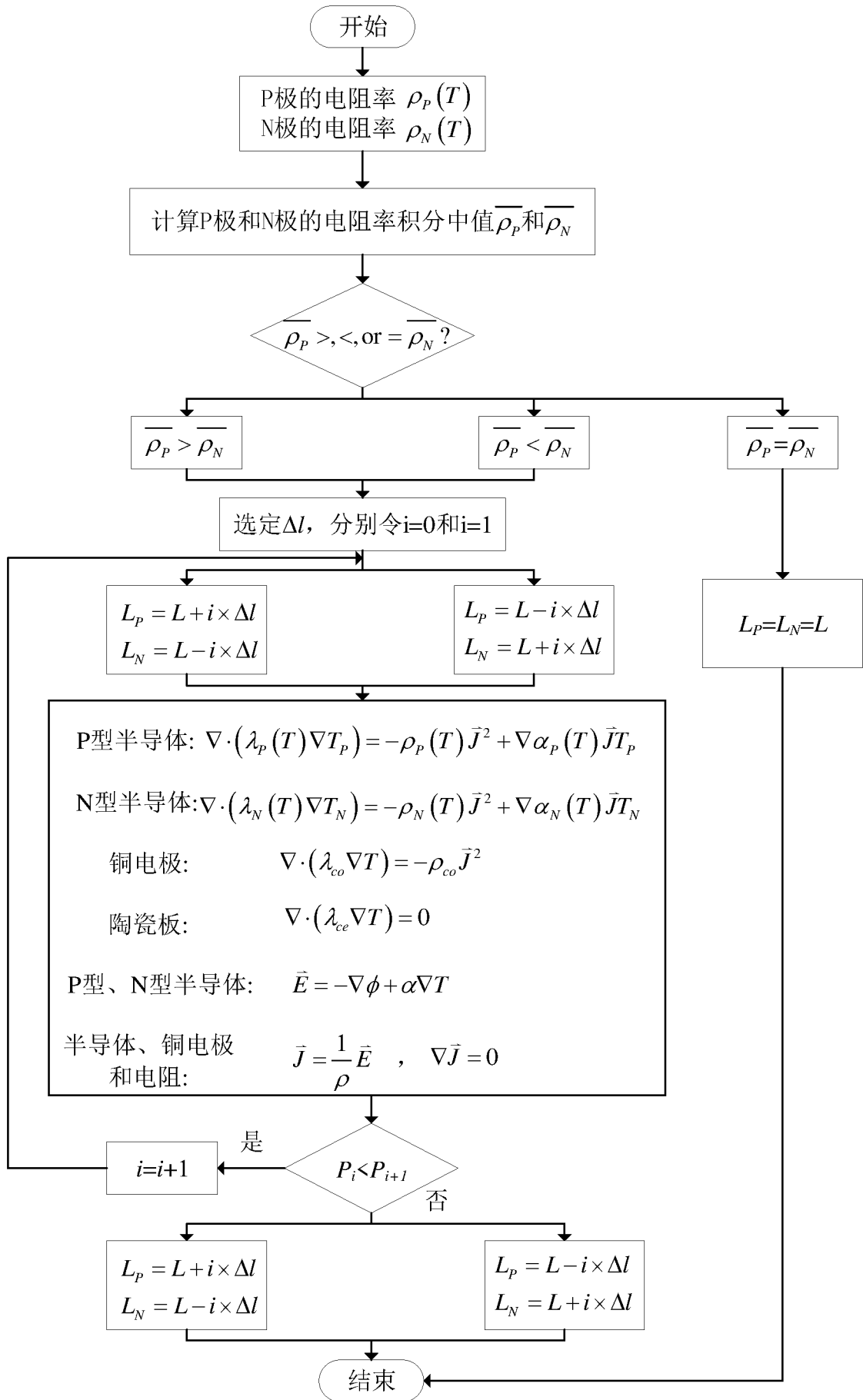


图 2

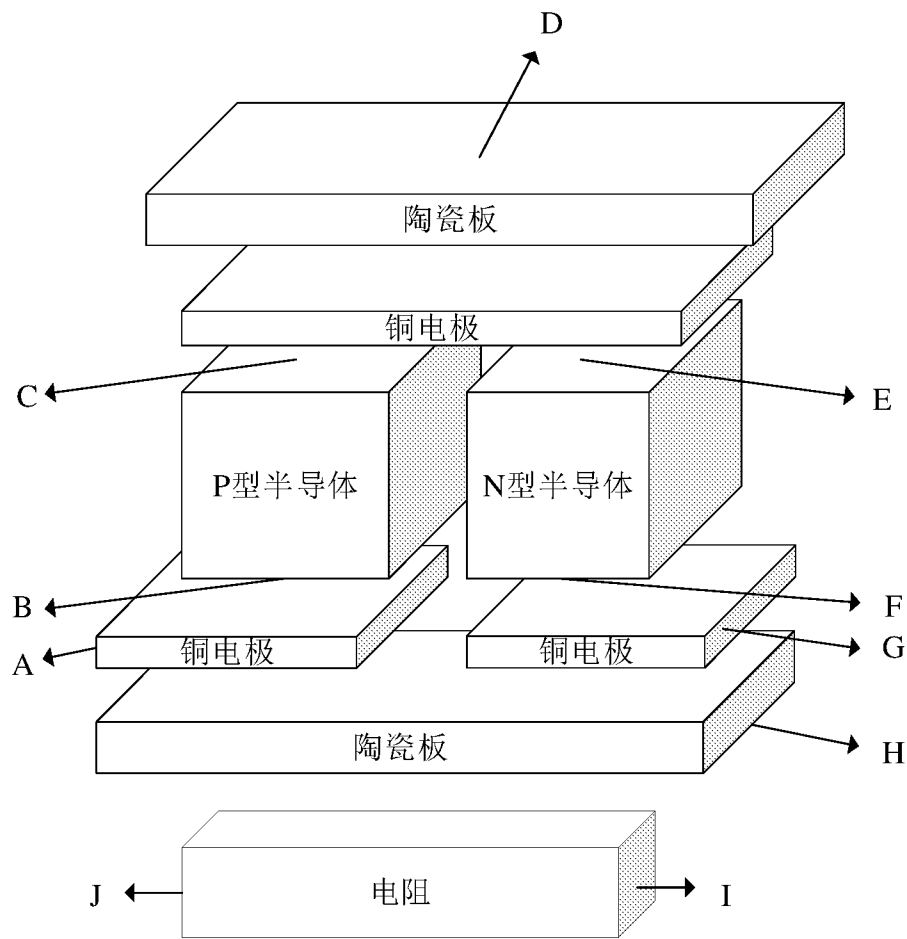


图 3

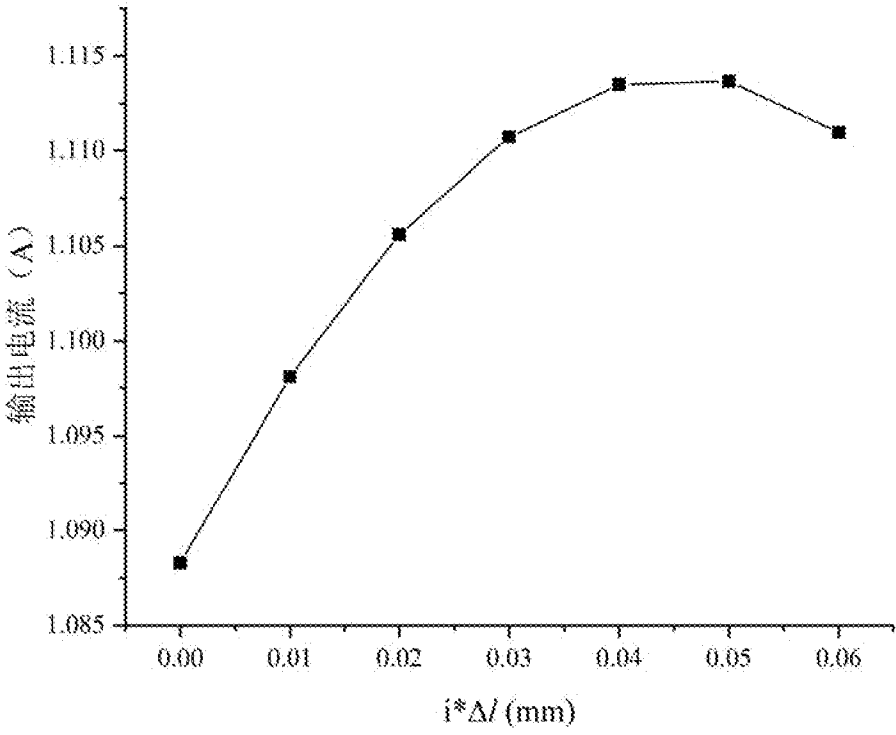


图 4

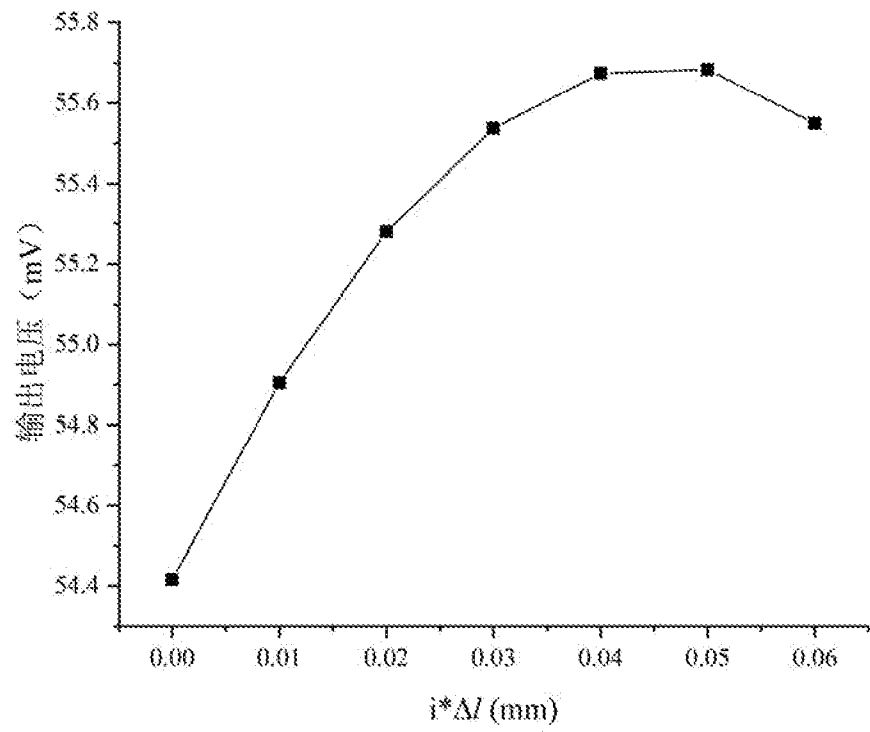


图 5

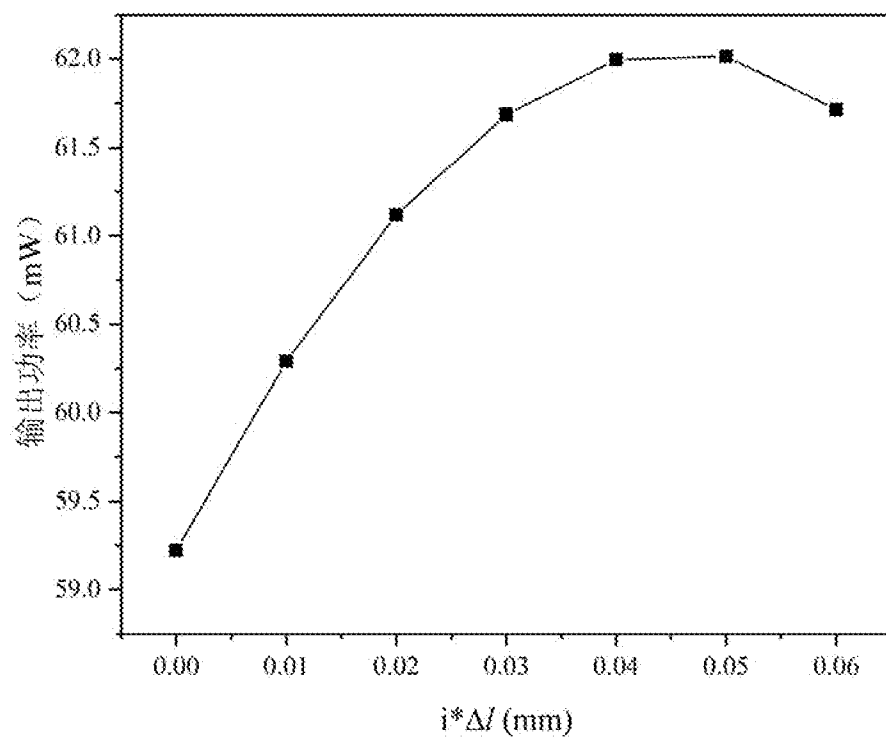


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/078587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 35/32(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN; CNABS; CNTXT; CNKI; USTXT; EPTXT; WOTXT: 功率, PN结, 半导体, 温差, 温度, 热电偶, 边界条件, 帕尔贴, 长度, 电阻率, 接触面, temp+, power, thermo-couple, semiconductor, peltier, resistivity, size, length, contact, terminal, boundary

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103973171 A (NORTH CHINA UNIVERSITY OF WATER RESOURCES AND ELECTRIC POWER) 06 August 2014 (2014-08-06) description, paragraphs [0014]-[0044], and figures 1 and 2	1-10
A	CN 105742476 A (XIAMEN LANZHI SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.) 06 July 2016 (2016-07-06) entire document	1-10
A	CN 102106010 A (LAMOS INC.) 22 June 2011 (2011-06-22) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 November 2019

Date of mailing of the international search report

18 November 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/078587

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103973171	A	06 August 2014	CN	103973171	B	27 January 2016
CN	105742476	A	06 July 2016	None			
CN	102106010	A	22 June 2011	RU	2011104079	A	20 August 2012
				US	2011100406	A1	05 May 2011
				EP	2311109	A2	20 April 2011
				WO	2010004550	A2	14 January 2010
				WO	2010004550	A3	30 September 2010
				IL	210445	A	31 December 2012
				SG	168025	A1	28 February 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/078587

A. 主题的分类 H01L 35/32 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类														
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H01L 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) VEN; CNABS; CNTXT; CNKI; USTXT; EPTXT; WOTXT; 功率, PN 结, 半导体, 温差, 温度, 热电偶, 边界条件, 帕尔贴, 长度, 电阻率, 接触面, temp+, power, thermo-couple, semiconductor, peltier, resistivity, size, length, contact, terminal, boundary														
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 103973171 A (华北水利水电大学) 2014 年 8 月 6 日 (2014 - 08 - 06) 说明书第 [0014] - [0044] 段, 附图 1、2</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105742476 A (厦门兰智科技有限公司) 2016 年 7 月 6 日 (2016 - 07 - 06) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102106010 A (拉莫斯有限公司) 2011 年 6 月 22 日 (2011 - 06 - 22) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 103973171 A (华北水利水电大学) 2014 年 8 月 6 日 (2014 - 08 - 06) 说明书第 [0014] - [0044] 段, 附图 1、2	1-10	A	CN 105742476 A (厦门兰智科技有限公司) 2016 年 7 月 6 日 (2016 - 07 - 06) 全文	1-10	A	CN 102106010 A (拉莫斯有限公司) 2011 年 6 月 22 日 (2011 - 06 - 22) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求												
A	CN 103973171 A (华北水利水电大学) 2014 年 8 月 6 日 (2014 - 08 - 06) 说明书第 [0014] - [0044] 段, 附图 1、2	1-10												
A	CN 105742476 A (厦门兰智科技有限公司) 2016 年 7 月 6 日 (2016 - 07 - 06) 全文	1-10												
A	CN 102106010 A (拉莫斯有限公司) 2011 年 6 月 22 日 (2011 - 06 - 22) 全文	1-10												
☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。														
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件														
国际检索实际完成的日期 2019 年 11 月 5 日		国际检索报告邮寄日期 2019 年 11 月 18 日												
ISA/CN 的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号 (86-10) 62019451		授权官员 郑悦 电话号码 (86-512) 88995751												

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/078587

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103973171	A	2014年 8月 6日	CN	103973171	B	2016年 1月 27日
CN	105742476	A	2016年 7月 6日	无			
CN	102106010	A	2011年 6月 22日	RU	2011104079	A	2012年 8月 20日
				US	2011100406	A1	2011年 5月 5日
				EP	23111109	A2	2011年 4月 20日
				WO	2010004550	A2	2010年 1月 14日
				WO	2010004550	A3	2010年 9月 30日
				IL	210445	A	2012年 12月 31日
				SG	168025	A1	2011年 2月 28日