



(21) 申请号 202110698683.2

(22) 申请日 2021.06.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113486576 A

(43) 申请公布日 2021.10.08

(73) 专利权人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72) 发明人 蔡烨芸 邓方 蒋京辰 石翔

赵佳晨 高峰 陈杰

(74) 专利代理机构 北京理工大学专利中心

11120

专利代理师 刘西云

(51) Int. Cl.

G06F 30/27 (2020.01)

H02N 11/00 (2006.01)

G06F 119/08 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 104183691 A, 2014.12.03

CN 106779083 A, 2017.05.31

CN 109271673 A, 2019.01.25

CN 109742226 A, 2019.05.10

CN 110071211 A, 2019.07.30

CN 110988530 A, 2020.04.10

TW 201626607 A, 2016.07.16

US 2012048323 A1, 2012.03.01

US 2016126438 A1, 2016.05.05

WO 2020181568 A1, 2020.09.17

片锦香;刘美佳;张丽秀;吴玉厚;宫巍.基于蜂群算法的机床主轴对流换热系数优化.仪器仪表学报.2015,(第12期),68-75.

李佳华;马连博;王兴伟;程适;邵一川.基于多目标蜂群进化优化的微电网能量调度方法.郑州大学学报(工学版).2018,(第06期),56-64.

审查员 温浩

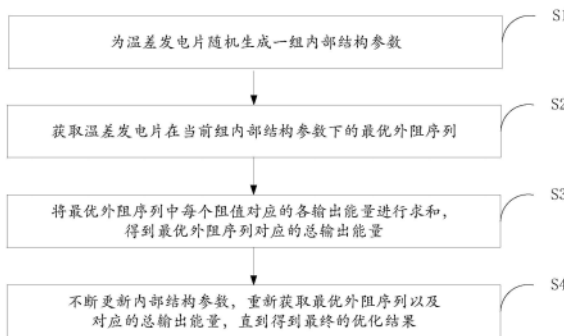
权利要求书4页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,为每组内部结构参数匹配不同的外阻序列,并找出输出能量最大值所对应的外阻序列,进而得到可以使温差发电片输出能量最大的内部结构参数和外接负载阻值的组合;因此,本发明可以使一般使用者在设计和使用时,可以借助本发明的优化策略,在使用相同质量的材料和相同面积的半导体晶粒的情况下,仅通过改变半导体晶粒形状、排布方式,改变外接负载电阻的阻值,制作高效率温差发电片,并得到该给定温差发电片的最优外接负载序列,从而提高温差发电片输出功率,增加温差发电片在民用场景中应用的意义。



1.一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1:为温差发电片随机生成一组内部结构参数,所述内部结构参数包括温差发电片长度方向上的半导体晶粒个数、宽度方向上的半导体晶粒个数、半导体晶粒的长度、半导体晶粒的宽度以及半导体晶粒的厚度;

S2:获取温差发电片在当前组内部结构参数下的最优外阻序列,其中,所述最优外阻序列至少包括四个阻值,且每个阻值为其前一个阻值设定邻域内的备选阻值中的其中一个;同时,每个阻值设定邻域内的备选阻值通过各自对应的设定步长采样得到,且每个阻值对应的设定步长小于其前一个阻值对应的设定步长;第一个阻值为温差发电片在当前组内部结构参数下的内阻初值的设定邻域内的备选阻值中的其中一个;

S3:将最优外阻序列中每个阻值对应的各输出能量进行求和,得到最优外阻序列对应的总输出能量 ΣE ,其中,每个阻值对应的输出能量为温差发电片外接该阻值的负载时所输出的能量;

S4:采用设定的更新方式对当前组内部结构参数进行更新,并将更新得到的下一组内部结构参数重复步骤S2~S3,得到温差发电片在下一组内部结构参数下的最优外阻序列对应的总输出能量 ΣE ;以此类推,直到内部结构参数的更新达到设定的更新次数,将最终得到的总输出能量的全局最大值对应的内部结构参数与最优外阻序列作为最终的优化结果;

所述最优外阻序列包括四个阻值,且最优外阻序列的获取方法为:

S21:以当前组内部结构参数对应的内阻作为温差发电片在当前组内部结构参数下的外阻的初始值 R_0 ;

S22:采用设定步长 Δ_1 在 R_0 的邻域内生成第一外阻序列,将第一外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_1 下的第一电阻序列;

S23:将第一电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第一外阻序列中的最优阻值 R_1 ;其中,所述最优阻值获取操作为:

将当前电阻序列中的每个阻值 R 代入如下公式,分别得到各阻值 R 下,温差发电片在设定时间段内的瞬时输出功率序列:

$$\frac{[\alpha(T_{sch} - T_{scc})]^2}{R} = P$$

其中, α 为塞贝克系数, T_{sch} 为温差发电片被加热后半导体晶粒的冷端温度, T_{scc} 为温差发电片被加热后半导体晶粒的热端温度,且冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{scc} 随着热量的传递而变化, P 为瞬时时刻下的冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{scc} 对应的瞬时输出功率;

分别对各瞬时输出功率序列进行积分,得到温差发电片在各阻值下对应的输出能量,并将其中的输出能量最大值对应的外阻阻值作为当前外阻序列中的最优阻值;

S24:采用设定步长 Δ_2 在 R_1 的邻域内生成第二外阻序列, $\Delta_2 < \Delta_1$,将第二外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_2 下的第二电阻序列;

S25:将第二电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第二外阻序列中的最优阻值 R_2 ;

S26:采用设定步长 Δ_3 在 R_2 的邻域内生成第三外阻序列, $\Delta_3 < \Delta_2$,将第三外阻序列中的

各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_3 下的第三电阻序列;

S27:将第三电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第三外阻序列中的最优阻值 R_3 ;

S28:采用设定步长 Δ_4 在 R_3 的邻域内生成第三外阻序列, $\Delta_4 < \Delta_3$,将第三外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_4 下的第四电阻序列;

S29:将第四电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第四外阻序列中的最优阻值 R_4 ;

S210:将 R_1 、 R_2 、 R_3 以及 R_4 组成温差发电片在当前组内部结构参数下的最优外阻序列。

2.如权利要求1所述的一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,所述温差发电片从上至下依次为第一陶瓷基底、第一铜传导层、第一焊料层、半导体晶粒层、第二焊料层、第二铜片传导层、第二陶瓷基底以及散热片,其特征在于,步骤S23中冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sc} 的计算方法为:

S231:构建温差发电片的一维分层瞬态模型如下:

第一陶瓷基底上表面的温度分布如下:

$$\rho_{ce} C_{ce} V_{ce} \frac{\partial T_{ceh}}{\partial t} = Q_{in} - k_{ce} A_{ce} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=ceh^b}$$

其中, ρ_{ce} 表示陶瓷密度, C_{ce} 表示陶瓷比热容, V_{ce} 表示陶瓷基底层体积, T_{ceh} 表示陶瓷基底层温度, t 表示时间, Q_{in} 表示输入温差发电片的热量, k_{ce} 表示陶瓷导热系数, A_{ce} 表示陶瓷基底层面积, x 表示位置, ceh^b 表示第一陶瓷基底层与空气的接触面;

第一陶瓷基底与第一铜传导层接触面的温度分布如下:

$$\rho_{cu} C_{cu} V_{cu} \frac{\partial T_{cuh}}{\partial t} = k_{ce} A_{ce} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=cuh^t} - n_{cu} k_{cu} A_{cu} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=cuh^b} - \frac{I^2 n_{cu} r_{cu}}{2}$$

其中, ρ_{cu} 表示铜的密度, C_{cu} 表示铜的比热容, V_{cu} 表示铜传导层体积, T_{cuh} 表示铜传导层温度, k_{ce} 表示陶瓷导热系数, A_{ce} 表示陶瓷基底层面积, n_{cu} 表示第一铜传导层上用于连接相邻半导体晶粒的铜片的个数, k_{cu} 表示铜导热系数, A_{cu} 表示单个铜片的面积, cuh^t 表示第一陶瓷基底层的下表面, cuh^b 表示第一铜传导层的上表面, I 表示流经单个铜片的电流, r_{cu} 表示单个铜片的电阻;

第一铜传导层与第一焊料层接触面的温度分布如下:

$$\rho_{sl} C_{sl} V_{sl} \frac{\partial T_{slh}}{\partial t} = k_{cu} A_{cu} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=slh^t} - \frac{I^2 r_{cu}}{2} - 2k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=slh^b} - I^2 r_{sl}$$

其中, ρ_{sl} 表示焊料的密度, C_{sl} 表示焊料的比热容, V_{sl} 表示焊料层体积, T_{slh} 表示焊料层温度, slh^t 表示第一铜传导层的下表面, slh^b 表示第一焊料层的上表面, k_{sl} 表示焊料导热系数, A_{sl} 表示单个铜片上所用焊料的面积, r_{sl} 表示在单个铜片上所用焊料的电阻;

所述半导体晶粒层划分为五段,则形成六个子层,且第一焊料层与半导体晶粒层的第一个子层的上表面的接触面的温度分布如下:

$$\rho_{sc} C_{sc} V_{sc1} \frac{\partial T_{sch}}{\partial t} = k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sch^t} - \frac{I^2 r_{sl}}{2} - k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sch^b} + \alpha_{sc1} I T_{sch} - \frac{I^2 r_{sc1}}{2} - \frac{\tau_{sc1} I (T_{sch} - T_2)}{2}$$

其中, ρ_{sc} 表示半导体的密度, C_{sc} 表示半导体的比热容, V_{sc1} 表示第一个子层的体积, T_{sch} 表示第一个子层的上表面温度, k_{sc} 表示半导体晶粒导热系数, A_{sc} 表示半导体晶粒层上的单个半导体晶粒面积, sch^t 表示第一焊料层的下表面, sch^b 表示第一个子层的上表面, α_{sc1} 表示第一个子层的塞贝克系数, r_{sc1} 表示单个半导体晶粒中属于第一个子层的部分的电阻, τ_{sc1} 表示第一个子层的汤姆逊系数, T_2 表示第二个子层上表面的温度;

半导体晶粒层第2~5个子层的温度分布如下:

$$\rho_{sc} C_{sc} V_{sck} \frac{\partial T_k}{\partial t} = k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sck^t} - \frac{I^2 r_{sc(k-1)}}{2} - \frac{I^2 r_{sck}}{2} - \frac{\tau_{sc(k-1)} I (T_{(k-1)} - T_k)}{2} - \frac{\tau_{sck} I (T_k - T_{(k+1)})}{2} - k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sck^b}$$

$$k = 2, 3, 4, 5$$

其中, V_{sck} 表示第k个子层的体积, T_k 表示半导体晶粒第k个子层上表面的温度, $r_{sc(k-1)}$ 表示单个半导体晶粒中属于第(k-1)个子层的部分的电阻, r_{sck} 表示单个半导体晶粒中属于第k个子层的部分的电阻, $\tau_{sc(k-1)}$ 表示半导体晶粒第(k-1)个子层的汤姆逊系数, τ_{sck} 表示半导体晶粒第k个子层的汤姆逊系数, sck^t 表示半导体晶粒第k-1个子层的下表面, sck^b 表示半导体晶粒第k个子层的上表面;

半导体晶粒层的第五个子层的下表面与第二焊料层的接触面的温度分布如下:

$$\rho_{sc} C_{sc} V_{scc} \frac{\partial T_{scc}}{\partial t} = k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=scc^t} - \alpha_{scc} I T_{scc} - \frac{I^2 r_{scc}}{2} - \frac{\tau_{scc} I (T_5 - T_{scc})}{2} - k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=scc^b} - \frac{I^2 r_{sl}}{2}$$

其中, V_{scc} 表示第6个子层的体积, T_{scc} 表示半导体晶粒的第六个子层的下表面的温度, scc^t 为第六个子层的下表面, scc^b 为第二焊料层的上表面, α_{scc} 为第六个子层的塞贝克系数, r_{scc} 为单个半导体晶粒中属于第六个子层的部分的电阻, τ_{scc} 为半导体晶粒第六个子层的汤姆逊系数;

S232: 向温差发电片的输入热量 Q_{in} , 根据所述一维分层瞬态模型得到冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{scc} 。

3. 如权利要求1所述的一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法, 其特征在于, 步骤S4中所述设定的更新方式包括四种方式, 则随机选取其中一种对当前组内部结构参数进行更新, 其中, 第一种更新方式如下:

$$x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1, 1) * (x_{k,j} - x_{i,j})$$

其中, $x_{i,j}$ 为第i组内部结构参数中的第j个内部结构参数, 且 $x_{i,j}$ 表示更新前的值, $x_{i,j}^*$ 表示更新后的值, 同时, 更新后的值 $x_{i,j}^*$ 作为下一组内部结构参数第j个内部结构参数的取值, $x_{k,j}$ 为随机选取的第k组内部结构参数中的第j个内部结构参数, 且 $k \neq i$, $\text{rand}(-1, 1)$ 表示-1到1之间的随机数;

第二种更新方式如下:

$$x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1, 1) * (x_{m,j} - x_{n,j})$$

其中, $x_{m,j}$ 为随机选取的第m组内部结构参数中的第j个内部结构参数, $x_{n,j}$ 为随机选取的第n组内部结构参数中的第j个内部结构参数, 且 $m \neq n \neq i$;

第三种更新方式如下:

$$x_{i,j}^* = x_{k,j}$$

第四种更新方式如下:

$$x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1,1) * (x_{\text{best},j} - x_{i,j})$$

其中, $x_{\text{best},j}$ 为目前得到的总输出能量的全局最大值对应的内部结构参数中的第 j 个内部结构参数。

4. 如权利要求3所述的一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法, 其特征在于, 每进行 N 次内部结构参数的更新后, 四种更新方式被选中的概率更新一次, 则在后续的 N 次内部结构参数的更新中, 按照更新后的概率对更新方式进行选取, 且四种更新方式被选中的概率的计算方法为:

$$P_r = \frac{\text{point}(r)}{\sum_{r=1}^4 \text{point}(r)}$$

其中, P_r 为第 r 种更新方式被选中的概率, $\text{point}(r)$ 为 N 次内部结构参数的更新中, 选取第 r 种更新方式对内部结构参数进行更新而得到的各总输出能量 ΣE 的分数总和, 且各总输出能量 ΣE 的评分标准如下:

若本次更新得到的总输出能量 ΣE 为目前得到的所有总输出能量的全局最大值, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为1000分;

若本次更新得到的总输出能量 ΣE 大于上一次更新得到的总输出能量, 且小于目前得到的所有总输出能量的全局最大值, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为100分;

若本次更新得到的总输出能量 ΣE 小于上一次更新得到的总输出能量, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为1分;

其中, 在第1 ~ N 次内部结构参数的更新中, 四种更新方式被选中的概率相同, 且 N 至少为200。

5. 如权利要求1所述的一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法, 其特征在于, 步骤S1中内部结构参数的生成方法为:

$$x_{i,j} = x_{\min,j} + \text{rand}(0,1) * (x_{\max,j} - x_{\min,j})$$

其中, $x_{i,j}$ 为第 i 组内部结构参数中的第 j 个内部结构参数, $x_{\min,j}$ 为第 j 个内部结构参数的设定下限值, $x_{\max,j}$ 为第 j 个内部结构参数的设定上限值, $\text{rand}(0,1)$ 表示0到1之间的随机数。

一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于新能源发电技术领域,尤其涉及一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法。

背景技术

[0002] 温差发电是利用新能源发电的一种方式,主要实现热能和电能之间的转换。由于发电过程没有化学反应和物理反应,该发电技术不会对环境造成影响。温差发电组件主要由上、下两层导热板,P型和N型半导体晶粒,以及连接材质组成。温差发电的热电转换效率主要由热电材料的性质决定。目前市面上商用温差发电片的转换效率只有5%,因此温差发电目前多应用在军事、航空等昂贵设备上,实际民用的情况很少。

[0003] 除了热电材料的性质,半导体晶粒的形状和排布方式,外接电阻负载与温差发电片的连接,都会影响温差发电片的间接转换效率。然而,当前并没有一种能够有效提高温差发电片的输出功率的半导体晶粒形状、排布方式以及电路外接电阻负载阻值的优化方法。

发明内容

[0004] 为解决上述问题,本发明提供一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,在使用相同材料和面积的半导体晶粒的情况下,仅通过改变半导体晶粒的结构和排布方式,改变外接负载电阻的阻值,就可以提高温差发电片的输出功率。

[0005] 一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,包括以下步骤:

[0006] S1:为温差发电片随机生成一组内部结构参数,所述内部结构参数包括温差发电片长度方向上的半导体晶粒个数、宽度方向上的半导体晶粒个数、半导体晶粒的长度、半导体晶粒的宽度以及半导体晶粒的厚度;

[0007] S2:获取温差发电片在当前组内部结构参数下的最优外阻序列,其中,所述最优外阻序列至少包括四个阻值,且每个阻值为其前一个阻值设定邻域内的备选阻值中的其中一个;同时,每个阻值设定邻域内的备选阻值通过各自对应的设定步长采样得到,且每个阻值对应的设定步长小于其前一个阻值对应的设定步长;第一个阻值为温差发电片在当前组内部结构参数下的内阻初值的设定邻域内的备选阻值中的其中一个;

[0008] S3:将最优外阻序列中每个阻值对应的各输出能量进行求和,得到最优外阻序列对应的总输出能量 ΣE ,其中,每个阻值对应的输出能量为温差发电片外接该阻值的负载时所输出的能量;

[0009] S4:采用设定的更新方式对当前组内部结构参数进行更新,并将更新得到的下一组内部结构参数重复步骤S2~S3,得到温差发电片在下一组内部结构参数下的最优外阻序列对应的总输出能量 ΣE ;以此类推,直到内部结构参数的更新达到设定的更新次数,将最终得到的总输出能量的全局最大值对应的内部结构参数与最优外阻序列作为最终的优化结果。

[0010] 进一步地,所述最优外阻序列包括四个阻值,且最优外阻序列的获取方法为:

[0011] S21:以当前组内部结构参数对应的内阻作为温差发电片在当前组内部结构参数下的外阻的初始值 R_0 ;

[0012] S22:采用设定步长 Δ_1 在 R_0 的邻域内生成第一外阻序列,将第一外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_1 下的第一电阻序列;

[0013] S23:将第一电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第一外阻序列中的最优阻值 R_1 ;其中,所述最优阻值获取操作为:

[0014] 将当前电阻序列中的每个阻值 R 代入如下公式,分别得到各阻值 R 下,温差发电片在设定时间段内的瞬时输出功率序列:

$$[0015] \quad \frac{[\alpha(T_{sch} - T_{sc})]^2}{R} = P$$

[0016] 其中, α 为塞贝克系数, T_{sch} 为温差发电片被加热后半导体晶粒的冷端温度, T_{sc} 为温差发电片被加热后半导体晶粒的热端温度,且冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sc} 随着热量的传递而变化, P 为瞬时时刻下的冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sc} 对应的瞬时输出功率;

[0017] 分别对各瞬时输出功率序列进行积分,得到温差发电片在各阻值下对应的输出能量,并将其中的输出能量最大值对应的外阻阻值作为当前外阻序列中的最优阻值;

[0018] S24:采用设定步长 Δ_2 在 R_1 的邻域内生成第二外阻序列, $\Delta_2 < \Delta_1$,将第二外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_2 下的第二电阻序列;

[0019] S25:将第二电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第二外阻序列中的最优阻值 R_2 ;

[0020] S26:采用设定步长 Δ_3 在 R_2 的邻域内生成第三外阻序列, $\Delta_3 < \Delta_2$,将第三外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_3 下的第三电阻序列;

[0021] S27:将第三电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第三外阻序列中的最优阻值 R_3 ;

[0022] S28:采用设定步长 Δ_4 在 R_3 的邻域内生成第三外阻序列, $\Delta_4 < \Delta_3$,将第三外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_4 下的第四电阻序列;

[0023] S29:将第四电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第四外阻序列中的最优阻值 R_4 ;

[0024] S210:将 R_1 、 R_2 、 R_3 以及 R_4 组成温差发电片在当前组内部结构参数下的最优外阻序列。

[0025] 进一步地,所述温差发电片从上至下依次为第一陶瓷基底、第一铜传导层、第一焊料层、半导体晶粒层、第二焊料层、第二铜片传导层、第二陶瓷基底以及散热片,其特征在于,步骤S23中冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sc} 的计算方法为:

[0026] S231:构建温差发电片的一维分层瞬态模型如下:

[0027] 第一陶瓷基底上表面的温度分布如下:

$$[0028] \quad \rho_{ce} C_{ce} V_{ce} \frac{\partial T_{ceh}}{\partial t} = Q_{in} - k_{ce} A_{ce} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=ceh^b}$$

[0029] 其中, ρ_{ce} 表示陶瓷密度, C_{ce} 表示陶瓷比热容, V_{ce} 表示陶瓷基底层体积, T_{ceh} 表示陶瓷基底层温度, t 表示时间, Q_{in} 表示输入温差发电片的热量, k_{ce} 表示陶瓷导热系数, A_{ce} 表示

陶瓷基底层面积, x 表示位置, ceh^b 表示第一陶瓷基底层与空气的接触面;

[0030] 第一陶瓷基底与第一铜传导层接触面的温度分布如下:

$$[0031] \quad \rho_{cu} C_{cu} V_{cu} \frac{\partial T_{cu}^h}{\partial t} = k_{ce} A_{ce} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=cuh^t} - n_{cu} k_{cu} A_{cu} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=cuh^b} - \frac{I^2 n_{cu} r_{cu}}{2}$$

[0032] 其中, ρ_{cu} 表示铜的密度, C_{cu} 表示铜的比热容, V_{cu} 表示铜传导层体积, T_{cu}^h 表示铜传导层温度, k_{ce} 表示陶瓷导热系数, A_{ce} 表示陶瓷基底层面积, n_{cu} 表示第一铜传导层上用于连接相邻半导体晶粒的铜片的个数, k_{cu} 表示铜导热系数, A_{cu} 表示单个铜片的面积, cuh^t 表示第一陶瓷基底层的下表面, cuh^b 表示第一铜传导层的上表面, I 表示流经单个铜片的电流, r_{cu} 表示单个铜片的电阻;

[0033] 第一铜传导层与第一焊料层接触面的温度分布如下:

$$[0034] \quad \rho_{sl} C_{sl} V_{sl} \frac{\partial T_{sl}^h}{\partial t} = k_{cu} A_{cu} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=slh^t} - \frac{I^2 r_{cu}}{2} - 2k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=slh^b} - I^2 r_{sl}$$

[0035] 其中, ρ_{sl} 表示焊料的密度, C_{sl} 表示焊料的比热容, V_{sl} 表示焊料层体积, T_{sl}^h 表示焊料层温度, slh^t 表示第一铜传导层的下表面, slh^b 表示第一焊料层的上表面, k_{sl} 表示焊料导热系数, A_{sl} 表示单个铜片上所用焊料的面积, r_{sl} 表示在单个铜片上所用焊料的电阻;

[0036] 所述半导体晶粒层划分为五段, 则形成六个子层, 且第一焊料层与半导体晶粒层的第一个子层的上表面的接触面的温度分布如下:

$$[0037] \quad \rho_{sc} C_{sc} V_{sc1} \frac{\partial T_{sch}}{\partial t} = k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sch^t} - \frac{I^2 r_{sl}}{2} - k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sch^b} + \alpha_{sc1} I T_{sch} - \frac{I^2 r_{sc1}}{2} - \frac{\tau_{sc1} I (T_{sch} - T_2)}{2}$$

[0038] 其中, ρ_{sc} 表示半导体的密度, C_{sc} 表示半导体的比热容, V_{sc1} 表示第一个子层的体积, T_{sch} 表示第一个子层的上表面温度, k_{sc} 表示半导体晶粒导热系数, A_{sc} 表示半导体晶粒层上的单个半导体晶粒面积, sch^t 表示第一焊料层的下表面, sch^b 表示第一个子层的上表面, α_{sc1} 表示第一个子层的塞贝克系数, r_{sc1} 表示单个半导体晶粒中属于第一个子层的部分的电阻, τ_{sc1} 表示第一个子层的汤姆逊系数, T_2 表示第二个子层上表面的温度;

[0039] 半导体晶粒层第2~5个子层的温度分布如下:

$$[0040] \quad \rho_{sc} C_{sc} V_{sck} \frac{\partial T_k}{\partial t} = k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sc^{k^t}} - \frac{I^2 r_{sc(k-1)}}{2} - \frac{I^2 r_{sck}}{2} - \frac{\tau_{sc(k-1)} I (T_{(k-1)} - T_k)}{2} - \frac{\tau_{sck} I (T_k - T_{(k+1)})}{2} - k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sc^{k^b}}$$

$k = 2, 3, 4, 5$

[0041] 其中, V_{sck} 表示第 k 个子层的体积, T_k 表示半导体晶粒第 k 个子层上表面的温度, $r_{sc(k-1)}$ 表示单个半导体晶粒中属于第 $(k-1)$ 个子层的部分的电阻, r_{sck} 表示单个半导体晶粒中属于第 k 个子层的部分的电阻, $\tau_{sc(k-1)}$ 表示半导体晶粒第 $(k-1)$ 个子层的汤姆逊系数, τ_{sck} 表示半导体晶粒第 k 个子层的汤姆逊系数, sc^{k^t} 表示半导体晶粒第 $k-1$ 个子层的下表面, sc^{k^b} 表示半导体晶粒第 k 个子层的上表面;

[0042] 半导体晶粒层的第五个子层的下表面与第二焊料层的接触面的温度分布如下:

$$[0043] \quad \rho_{sc} C_{sc} V_{sc6} \frac{\partial T_{sc6}}{\partial t} = k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sc6^t} - \alpha_{sc6} I T_{sc6} - \frac{I^2 r_{sc6}}{2} - \frac{\tau_{sc6} I (T_5 - T_{sc6})}{2} - k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sc6^b} - \frac{I^2 r_{sl}}{2}$$

[0044] 其中, V_{sc6} 表示第6个子层的体积, T_{sc6} 表示半导体晶粒的第六个子层的下表面的温度, $sc6^t$ 为第六个子层的下表面, $sc6^b$ 为第二焊料层的上表面, α_{sc6} 为第六个子层的塞贝克系数, r_{sc6} 为单个半导体晶粒中属于第6个子层的部分的电阻, τ_{sc6} 为半导体晶粒第6个子层的汤姆逊系数;

[0045] S232: 向温差发电片的输入热量 Q_{in} , 根据所述一维分层瞬态模型得到冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sc6} 。

[0046] 进一步地, 步骤S4中所述设定的更新方式包括四种方式, 则随机选取其中一种对当前组内部结构参数进行更新, 其中, 第一种更新方式如下:

$$[0047] \quad x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1,1) * (x_{k,j} - x_{i,j})$$

[0048] 其中, $x_{i,j}$ 为第i组内部结构参数中的第j个内部结构参数, 且 $x_{i,j}$ 表示更新前的值, $x_{i,j}^*$ 表示更新后的值, 同时, 更新后的值 $x_{i,j}^*$ 作为下一组内部结构参数第j个内部结构参数的取值, $x_{k,j}$ 为随机选取的第k组内部结构参数中的第j个内部结构参数, 且 $k \neq i$, $\text{rand}(-1,1)$ 表示-1到1之间的随机数;

[0049] 第二种更新方式如下:

$$[0050] \quad x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1,1) * (x_{m,j} - x_{n,j})$$

[0051] 其中, $x_{m,j}$ 为随机选取的第m组内部结构参数中的第j个内部结构参数, $x_{n,j}$ 为随机选取的第n组内部结构参数中的第j个内部结构参数, 且 $m \neq n \neq i$;

[0052] 第三种更新方式如下:

$$[0053] \quad x_{i,j}^* = x_{k,j}$$

[0054] 第四种更新方式如下:

$$[0055] \quad x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1,1) * (x_{best,j} - x_{i,j})$$

[0056] 其中, $x_{best,j}$ 为目前得到的总输出能量的全局最大值对应的内部结构参数中的第j个内部结构参数。

[0057] 进一步地, 每进行N次内部结构参数的更新后, 四种更新方式被选中的概率更新一次, 则在后续的N次内部结构参数的更新中, 按照更新后的概率对更新方式进行选取, 且四种更新方式被选中的概率的计算方法为:

$$[0058] \quad P_r = \frac{\text{point}(r)}{\sum_{r=1}^4 \text{point}(r)}$$

[0059] 其中, P_r 为第r种更新方式被选中的概率, $\text{point}(r)$ 为N次内部结构参数的更新中, 选取第r种更新方式对内部结构参数进行更新而得到的各总输出能量 ΣE 的分数总和, 且各总输出能量 ΣE 的评分标准如下:

[0060] 若本次更新得到的总输出能量 ΣE 为目前得到的所有总输出能量的全局最大值, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为1000分;

[0061] 若本次更新得到的总输出能量 ΣE 大于上一次更新得到的总输出能量, 且小于目

前得到的所有总输出能量的全局最大值,则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为100分;

[0062] 若本次更新得到的总输出能量 ΣE 小于上一次更新得到的总输出能量,则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为1分;

[0063] 其中,在第1~N次内部结构参数的更新中,四种更新方式被选中的概率相同,且N至少为200。

[0064] 进一步地,步骤S1中内部结构参数的生成方法为:

[0065] $x_{i,j} = x_{\min,j} + \text{rand}(0,1) * (x_{\max,j} - x_{\min,j})$

[0066] 其中, $x_{i,j}$ 为第i组内部结构参数中的第j个内部结构参数, $x_{\min,j}$ 为第j个内部结构参数的设定下限值, $x_{\max,j}$ 为第j个内部结构参数的设定上限值, $\text{rand}(-1,1)$ 表示0到1之间的随机数。

[0067] 有益效果:

[0068] 1、本发明提供一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,为每组内部结构参数匹配不同的外阻序列,并找出输出能量最大值所对应的外阻序列,进而得到可以使温差发电片输出能量最大的内部结构参数和外接负载阻值的组合;因此,本发明可以使一般使用者在设计和使用温差发电片的过程中,可以借助本发明的优化策略,在使用相同质量的材料和相同面积的半导体晶粒的情况下,仅通过改变半导体晶粒形状、排布方式,改变外接负载电阻的阻值,制作高效率温差发电片,并得到该给定温差发电片的最优外接负载序列,从而提高温差发电片输出功率,增加温差发电片在民用场景中应用的意义。

[0069] 2、本发明提供一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,采用变步长的启发式策略,渐进式的缩小最优外阻值的所在范围,提高了最后获取的最优外接负载序列的准确性,有助于提高温差发电片的输出功率。

[0070] 3、本发明提供一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,构建了接近真实环境下的温差发电片的一维分层瞬态模型,能够计算出温差发电片各分层的温度;此外,一维分层瞬态模型的输入为热流量 Q_{in} ,相比于采用温度来作为输入,能够更接近真实应用场景中的输入热源形式,有利于模型计算精度的提高。

[0071] 4、本发明提供一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,采用四种不同的步长渐进式的缩小最优外阻值的所在范围,能够在保证最优阻值准确性的基础上,减小计算量,提高计算效率。

附图说明

[0072] 图1为本发明提供的一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法的流程图;

[0073] 图2为与本发明方法输入参数相关的温差发电片内部结构参数示意图;

[0074] 图3为本发明使用的温差发电片一维分层瞬态模型具体分层情况。

具体实施方式

[0075] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请方案,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0076] 如图1所示,一种基于改进人工蜂群算法的温差发电片智能优化方法,包括以下步骤:

[0077] S1:为温差发电片随机生成一组内部结构参数,所述内部结构参数包括温差发电片长度方向上的半导体晶粒个数、宽度方向上的半导体晶粒个数、半导体晶粒的长度、半导体晶粒的宽度以及半导体晶粒的厚度,如图2所示。

[0078] 需要说明的是,在算法运行的初始时刻,没有任何先验解数据,需要产生一组随机的初始解 X_1 ;具体的,初始解 X_1 也即第一组内部结构参数的生成方法为:

$$[0079] \quad x_{i,j} = x_{\min,j} + \text{rand}(0,1) * (x_{\max,j} - x_{\min,j})$$

[0080] 其中, $x_{i,j}$ 为第*i*组内部结构参数中的第*j*个内部结构参数, $x_{\min,j}$ 为第*j*个内部结构参数的设定下限值, $x_{\max,j}$ 为第*j*个内部结构参数的设定上限值,由于本发明选取的内部结构参数为五个,因此*j*=1,2,3,4,5,rand(-1,1)表示0到1之间的随机数。

[0081] 需要说明的是,根据实际精度要求,各个内部结构参数的原始精度精确到小数点后两位,因此,内部结构参数可以采用直接整数编码方式来表征,将内部结构参数的原始数值乘以100即可得到本发明中的每组内部结构参数中的编码值;以半导体晶粒厚度为例,1.25mm毫米的厚度值在优化过程中表示为1.25mm*100,将其直接作为内部结构参数中的编码数值来进行后续计算和寻优。

[0082] S2:获取温差发电片在当前组内部结构参数下的最优外阻序列,其中,所述最优外阻序列包括四个阻值,且每个阻值为其前一个阻值设定邻域内的备选阻值中的其中一个;同时,每个阻值设定邻域内的备选阻值通过各自对应的设定步长采样得到,且每个阻值对应的设定步长小于其前一个阻值对应的设定步长;第一个阻值为温差发电片在当前组内部结构参数下的内阻初值的设定邻域内的备选阻值中的其中一个。

[0083] S3:将最优外阻序列中每个阻值对应的各输出能量进行求和,得到最优外阻序列对应的总输出能量 ΣE ,其中,每个阻值对应的输出能量为温差发电片外接该阻值的负载时所输出的能量。

[0084] S4:采用设定的更新方式对当前组内部结构参数进行更新,并将更新得到的下一组内部结构参数重复步骤S2~S3,得到温差发电片在下一组内部结构参数下的最优外阻序列对应的总输出能量 ΣE ;以此类推,直到内部结构参数的更新达到设定的更新次数,将最终得到的总输出能量的全局最大值对应的内部结构参数与最优外阻序列作为最终的优化结果。

[0085] 由此可见,本发明每一轮探索结束后都会比较当前时刻的全局最优解并与历史全局最优解的结果并记录,经过多轮的探索迭代后寻优过程结束,过程中所记录的最优解将会被作为数值优化结果也就是最终的寻优结果。

[0086] 整个策略将不停在步骤S2~S4中循环执行,直到达到终止条件后停止工作。策略结束后将输出优化后的最优温差发电片结构参数,发电片长度上的晶粒个数、半导体晶粒长度、发电片宽度上的晶粒个数、半导体晶粒宽度以及半导体晶粒的厚度,以及一段工作时间内的最优外阻匹配阻值。

[0087] 需要说明的是,步骤S4中所述设定的更新方式包括四种方式,则随机选取其中一种对当前组内部结构参数进行更新,其中,第一种更新方式具体更新公式如下:

$$[0088] \quad x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1,1) * (x_{k,j} - x_{i,j})$$

[0089] 其中, $x_{i,j}$ 为第 i 组内部结构参数中的第 j 个内部结构参数, 且 $x_{i,j}$ 表示更新前的值, $x_{i,j}^*$ 表示更新后的值, 同时, 更新后的值 $x_{i,j}^*$ 作为下一组内部结构参数第 j 个内部结构参数的取值, $x_{k,j}$ 为随机选取的第 k 组内部结构参数中的第 j 个内部结构参数, 且 $k \neq i$, $\text{rand}(-1, 1)$ 表示 -1 到 1 之间的随机数; 需要说明的是, 第 k 组也是在第 i 组内部结构参数之前的内部结构参数;

[0090] 第二种更新方式是将第一种更新方式中的两解作差改为随机两个其他解作差, 具体更新公式如下:

$$[0091] \quad x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1, 1) * (x_{m,j} - x_{n,j})$$

[0092] 其中, $x_{m,j}$ 为随机选取的第 m 组内部结构参数中的第 j 个内部结构参数, $x_{n,j}$ 为随机选取的第 n 组内部结构参数中的第 j 个内部结构参数, 且 $m \neq n \neq i$, 代表随机选取的不重复的第 n 、 m 组内部结构参数; 需要说明的是, 第 m 组和第 n 组也是在第 i 组内部结构参数之前的内部结构参数;

[0093] 第三种更新方式将两个组内部结构参数之间取部分维度的参数进行交叉, 具体更新公式如下:

$$[0094] \quad x_{i,j}^* = x_{k,j}$$

[0095] 第四种更新方式是将第一种更新方式中的两解作差改为最优解与当前解作差, 具体更新公式如下:

$$[0096] \quad x_{i,j}^* = x_{i,j} + \text{rand}(-1, 1) * (x_{\text{best},j} - x_{i,j})$$

[0097] 其中, $x_{\text{best},j}$ 为目前得到的总输出能量的全局最大值对应的内部结构参数中的第 j 个内部结构参数。

[0098] 需要说明的是, 在更新解的过程中很有可能产生超出取值范围的不可行解, 此时需要对解进行修复。在本策略中设计的修复解方法为: 若某个内部结构参数越过对应下限则将其置于下限边界, 若超过上限则将其置于上限边界。

[0099] 进一步地, 每进行 N 次内部结构参数的更新后, 四种更新方式被选中的概率更新一次, 则在后续的 N 次内部结构参数的更新中, 按照更新后的概率对更新方式进行选取, 且四种更新方式被选中的概率的计算方法为:

$$[0100] \quad P_r = \frac{\text{point}(r)}{\sum_{r=1}^4 \text{point}(r)}$$

[0101] 其中, P_r 为第 r 种更新方式被选中的概率, $\text{point}(r)$ 为 N 次内部结构参数的更新中, 选取第 r 种更新方式对内部结构参数进行更新而得到的各总输出能量 ΣE 的分数总和, 且各总输出能量 ΣE 的评分标准如下:

[0102] 若本次更新得到的总输出能量 ΣE 为目前得到的所有总输出能量的全局最大值, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为 1000 分;

[0103] 若本次更新得到的总输出能量 ΣE 大于上一次更新得到的总输出能量, 且小于目前得到的所有总输出能量的全局最大值, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为 100 分;

[0104] 若本次更新得到的总输出能量 ΣE 小于上一次更新得到的总输出能量, 则本次更新得到的总输出能量 ΣE 对应的分数为1分;

[0105] 其中, 在第1~N次内部结构参数的更新中, 四种更新方式被选中的概率相同, 且N至少为200。

[0106] 也就是说, 确定了这四种解更新方式后, 建立一个数组用于给四种策略进行打分, 当需要进行解的更新时, 根据概率随机选择一种策略进行更新。对不同策略产生的结果设计不同打分规则。另设置一个循环次数N, 统计该循环次数内四种更新策略的得分, 每当循环次数达到N后根据打分统计调整四种更新策略的被选中概率; 当概率更新后将打分表清零, 并重新开始计分。另外当优化程序刚开始运行时四种更新策略的被选中概率是相同的, 即被选中概率均为25%。

[0107] 例如, 前200次更新时, 四种更新方式被选中的概率均为25%, 也即25%作为各更新方式被选中概率的初始值; 然后统计前200次各个总输出能量的分数, 重新计算更新方式的概率, 则第201~400次更新则按照重新计算得到的概率来对更新方式进行随机选取。

[0108] 进一步地, 最优外阻序列的获取方法具体包括以下步骤:

[0109] S21: 以当前组内部结构参数对应的内阻作为温差发电片在当前组内部结构参数下的外阻的初始值 R_0 ;

[0110] 需要说明的是, 根据五个内部结构参数和系统初始环境, 利用热力学公式可以计算出温差发电片内阻初始值, 系统初始环境包括系统初始温度、热源功率、温差发电片各材料层的比热容、密度、导电率和导热率和散热系数等物理参数。

[0111] S22: 采用设定步长 Δ_1 在 R_0 的邻域内生成第一外阻序列, 将第一外阻序列中的各阻值分别与内阻相加, 得到温差发电片在步长 Δ_1 下的第一电阻序列;

[0112] S23: 将第一电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作, 得到第一外阻序列中的最优阻值 R_1 ; 其中, 所述最优阻值获取操作为:

[0113] 将当前电阻序列中的每个阻值 R 代入如下公式, 分别得到各阻值 R 下, 温差发电片在设定时间段内的瞬时输出功率序列:

$$[0114] \quad \frac{[\alpha(T_{sch} - T_{scc})]^2}{R} = P$$

[0115] 其中, α 为塞贝克系数, T_{sch} 为温差发电片被加热后半导体晶粒的冷端温度, T_{scc} 为温差发电片被加热后半导体晶粒的热端温度, 且冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{scc} 随着热量的传递而变化, P 为瞬时时刻下的冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{scc} 对应的瞬时输出功率;

[0116] 分别对各瞬时输出功率序列进行积分, 得到温差发电片在各阻值下对应的输出能量, 并将其中的输出能量最大值对应的外阻阻值作为当前外阻序列中的最优阻值;

[0117] S24: 采用设定步长 Δ_2 在 R_1 的邻域内生成第二外阻序列, $\Delta_2 < \Delta_1$, 将第二外阻序列中的各阻值分别与内阻相加, 得到温差发电片在步长 Δ_2 下的第二电阻序列;

[0118] S25: 将第二电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作, 得到第二外阻序列中的最优阻值 R_2 ;

[0119] S26: 采用设定步长 Δ_3 在 R_2 的邻域内生成第三外阻序列, $\Delta_3 < \Delta_2$, 将第三外阻序列中的各阻值分别与内阻相加, 得到温差发电片在步长 Δ_3 下的第三电阻序列;

[0120] S27: 将第三电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作, 得到第三外阻序

列中的最优阻值 R_3 ;

[0121] S28:采用设定步长 Δ_4 在 R_3 的邻域内生成第三外阻序列, $\Delta_4 < \Delta_3$,将第三外阻序列中的各阻值分别与内阻相加,得到温差发电片在步长 Δ_4 下的第四电阻序列;

[0122] S29:将第四电阻序列作为当前电阻序列执行最优阻值获取操作,得到第四外阻序列中的最优阻值 R_4 ;

[0123] S210:将 R_1 、 R_2 、 R_3 以及 R_4 组成温差发电片在当前组内部结构参数下的最优外阻序列。

[0124] 换言之,本发明利用变步长探索的启发式策略得到最优外阻序列,具体步长探索策略的流程可以总结如下:

[0125] (1) 计算初始状态下温差发电片的内阻,并设置外部负载初始解为内阻阻值,计算在该外阻下60s内系统总输出能量;

[0126] (2) 从外部负载初始解以 0.5Ω 为步长不断调整外阻阻值并计算对应的总输出能量,采用贪心策略选取当前步长下的最优负载阻值;

[0127] (3) 以(2)中所得到的最优负载阻值作为初始解,以 0.2Ω 为步长不断调整外阻阻值并计算对应的总输出能量,采用贪心策略选取当前步长下的最优负载阻值;如果最优负载阻值与初始解不同,则将当前最优负载阻值作为下一步的初始解并返回(2);

[0128] (4) 以(3)中所得到的最优负载阻值作为初始解,以 0.05Ω 为步长不断调整外阻阻值并计算对应的总输出能量,采用贪心策略选取当前步长下的最优负载阻值;如果最优负载阻值与初始解不同,则将当前最优负载阻值作为下一步的初始解并返回(2);

[0129] (5) 以(4)中所得到的最优负载阻值作为初始解,以 0.01Ω 为步长不断调整外阻阻值并计算对应的总输出能量,采用贪心策略选取当前步长下的最优负载阻值;如果最优负载阻值与初始解不同,则将当前最优负载阻值作为下一步的初始解并返回(2);

[0130] (6) 输出最优负载阻值作为本轮阻值优化的最优解。

[0131] 下面介绍步骤S23中冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sce} 的计算方法。如图3所示,所述温差发电片从上至下依次为第一陶瓷基底、第一铜传导层、第一焊料层、半导体晶粒层、第二焊料层、第二铜片传导层、第二陶瓷基底以及散热片。

[0132] 冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sce} 的计算方法具体包括以下步骤:

[0133] S231:构建温差发电片的一维分层瞬态模型如下:

[0134] 第一陶瓷基底上表面的温度分布如下:

$$[0135] \quad \rho_{ce} C_{ce} V_{ce} \frac{\partial T_{ceh}}{\partial t} = Q_{in} - k_{ce} A_{ce} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=ceh^b}$$

[0136] 其中, ρ_{ce} 表示陶瓷密度, C_{ce} 表示陶瓷比热容, V_{ce} 表示陶瓷基底层体积, T_{ceh} 表示陶瓷基底层温度, t 表示时间, Q_{in} 表示输入温差发电片的热量, k_{ce} 表示陶瓷导热系数, A_{ce} 表示陶瓷基底层面积, x 表示位置, ceh^b 表示第一陶瓷基底层与空气的接触面(即图3中第一陶瓷基底层ceh的下表面);

[0137] 第一陶瓷基底与第一铜传导层接触面的温度分布如下:

$$[0138] \quad \rho_{cu} C_{cu} V_{cu} \frac{\partial T_{cuh}}{\partial t} = k_{ce} A_{ce} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=cuh^f} - n_{cu} k_{cu} A_{cu} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=cuh^b} - \frac{I^2 n_{cu} r_{cu}}{2}$$

[0139] 其中, ρ_{cu} 表示铜的密度, C_{cu} 表示铜的比热容, V_{cu} 表示铜传导层体积, T_{cuh} 表示铜传导层温度, k_{ce} 表示陶瓷导热系数, A_{ce} 表示陶瓷基底层面积, n_{cu} 表示第一铜传导层上用于连接相邻半导体晶粒的铜片的个数, k_{cu} 表示铜导热系数, A_{cu} 表示单个铜片的面积, cuh^t 表示第一陶瓷基底层的下表面(即为与铜传导层紧密接触的陶瓷基底层部分), cuh^b 表示第一铜传导层的上表面(即为与陶瓷基底层部分紧密接触的铜传导层部分), I 表示流经单个铜片的电流, r_{cu} 表示单个铜片的电阻;

[0140] 第一铜传导层与第一焊料层接触面的温度分布如下:

$$[0141] \quad \rho_{sl} C_{sl} V_{sl} \frac{\partial T_{slh}}{\partial t} = k_{cu} A_{cu} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=slh^t} - \frac{I^2 r_{cu}}{2} - 2k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=slh^b} - I^2 r_{sl}$$

[0142] 其中, ρ_{sl} 表示焊料的密度, C_{sl} 表示焊料的比热容, V_{sl} 表示焊料层体积, T_{slh} 表示焊料层温度, slh^t 表示第一铜传导层的下表面(即为与焊料层紧密接触的铜传导层部分), slh^b 表示第一焊料层的上表面(即为与铜传导层紧密接触的焊料层部分), k_{sl} 表示焊料导热系数, A_{sl} 表示单个铜片上所用焊料的面积, r_{sl} 表示在单个铜片上所用焊料的电阻;

[0143] 所述半导体晶粒层划分为五段, 则形成六个子层, 且第一焊料层与半导体晶粒层的第一个子层的上表面的接触面的温度分布如下:

$$[0144] \quad \rho_{sc} C_{sc} V_{sc1} \frac{\partial T_{sch}}{\partial t} = k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sch^t} - \frac{I^2 r_{sl}}{2} - k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sch^b} + \alpha_{sc1} I T_{sch} - \frac{I^2 r_{sc1}}{2} - \frac{\tau_{sc1} I (T_{sch} - T_2)}{2}$$

[0145] 其中, ρ_{sc} 表示半导体的密度, C_{sc} 表示半导体的比热容, V_{sc1} 表示第一个子层的体积, T_{sch} 表示第一个子层的上表面温度, k_{sc} 表示半导体晶粒导热系数, A_{sc} 表示半导体晶粒层上的单个半导体晶粒面积, sch^t 表示第一焊料层的下表面(即为与半导体晶粒紧密接触的焊料层部分), sch^b 表示第一个子层的上表面(即为与焊料层紧密接触的半导体晶粒第一层部分), α_{sc1} 表示第一个子层的塞贝克系数, r_{sc1} 表示单个半导体晶粒中属于第一个子层的部分的电阻, τ_{sc1} 表示第一个子层的汤姆逊系数, T_2 表示第二个子层上表面的温度;

[0146] 半导体晶粒层第2~5个子层的温度分布如下:

$$[0147] \quad \rho_{sc} C_{sc} V_{sck} \frac{\partial T_k}{\partial t} = k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sck^t} - \frac{I^2 r_{sc(k-1)}}{2} - \frac{I^2 r_{sck}}{2} - \frac{\tau_{sc(k-1)} I (T_{(k-1)} - T_k)}{2} - \frac{\tau_{sck} I (T_k - T_{(k+1)})}{2} - k_{sc} A_{sc} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=sck^b}$$

$k = 2, 3, 4, 5$

[0148] 其中, V_{sck} 表示第k个子层的体积, T_k 表示半导体晶粒第k个子层上表面的温度, $r_{sc(k-1)}$ 表示单个半导体晶粒中属于第(k-1)个子层的部分的电阻, r_{sck} 表示单个半导体晶粒中属于第k个子层的部分的电阻, $\tau_{sc(k-1)}$ 表示半导体晶粒第(k-1)个子层的汤姆逊系数, τ_{sck} 表示半导体晶粒第k个子层的汤姆逊系数, sck^t 表示半导体晶粒第k-1个子层的下表面(比如 $sc2^t$ 就是指, 和第二层紧密接触的第一层部分), sck^b 表示半导体晶粒第k个子层的上表面(比如 $sc2^b$ 就是指, 和第一层紧密接触的第二层部分);

[0149] 半导体晶粒层的第五个子层的下表面与第二焊料层的接触面的温度分布如下:

$$[0150] \quad \rho_{sc} C_{sc} V_{sc6} \frac{\partial T_{scc}}{\partial t} = k_{sc6} A_{sc6} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=scc^t} - \alpha_{scc} I T_{scc} - \frac{I^2 r_{sc6}}{2} - \frac{\tau_{sc6} I (T_5 - T_{scc})}{2} - k_{sl} A_{sl} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \Big|_{x=scc^b} - \frac{I^2 r_{sl}}{2}$$

[0151] 其中, V_{sc6} 表示第6个子层的体积, T_{sc} 表示半导体晶粒的第六个子层的下表面的温度, scc^t 为第六个子层的下表面, scc^b 为第二焊料层的上表面, α_{sc6} 为第六个子层的塞贝克系数, r_{sc6} 为单个半导体晶粒中属于第6个子层的部分的电阻, τ_{sc6} 为半导体晶粒第6个子层的汤姆逊系数;

[0152] S232: 向温差发电片的输入热量 Q_{in} , 根据所述一维分层瞬态模型得到冷端温度 T_{sch} 和热端温度 T_{sc} 。

[0153] 由此可见, 本发明建立了一个带有水冷散热片的温差发电系统, 温差发电片采用刚性陶瓷基底, 进而得到接近真实环境下的温差发电片一维分层瞬态模型, 并将该模型作为该策略中的适应度函数。上述各层材料之间的温度分布实际为边界条件, 针对该模型, 再利用相应边界条件进行分步求解即可得到温差发电片中不同材料层的温度分布情况。

[0154] 因此, 使用者可以借助本发明的优化策略寻找在特定系统中半导体晶粒更合理的形状和排布方式, 制作高效率温差发电片。同时, 该优化策略可以寻找到给定电路系统中的最优外接负载序列, 帮助系统提高输出功率。

[0155] 当然, 本发明还可有其他多种实施例, 在不背离本发明精神及其实质的情况下, 熟悉本领域的技术人员当然可根据本发明作出各种相应的改变和变形, 但这些相应的改变和变形都应属于本发明所附的权利要求的保护范围。

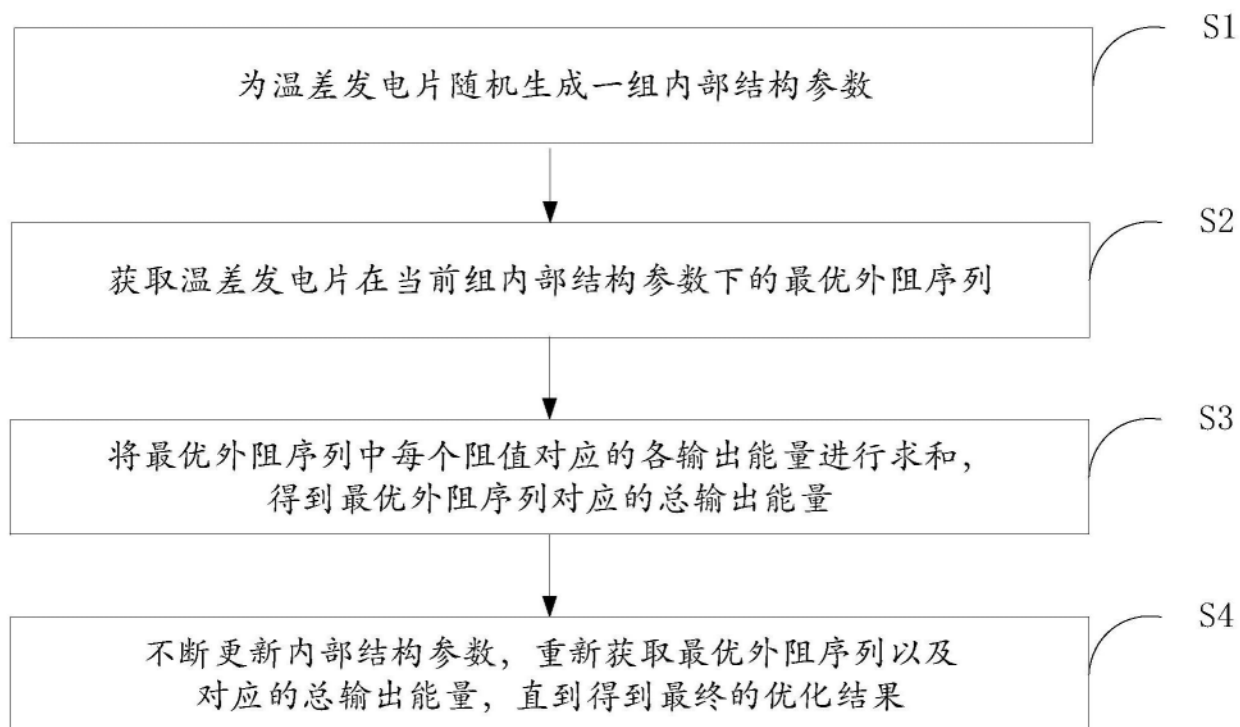


图1

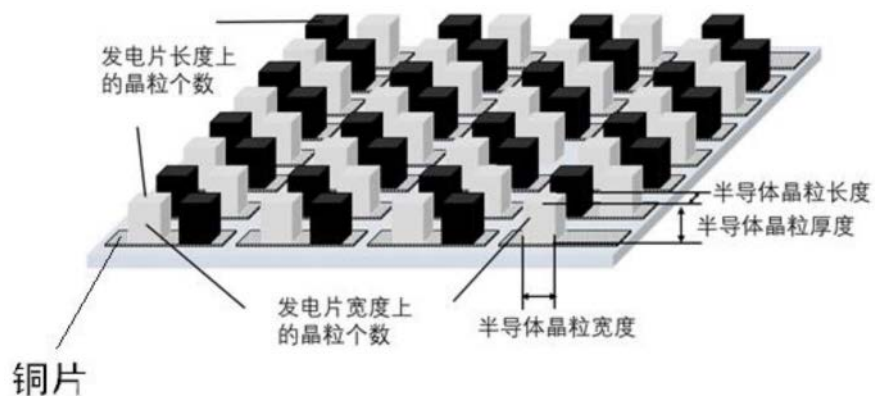


图2

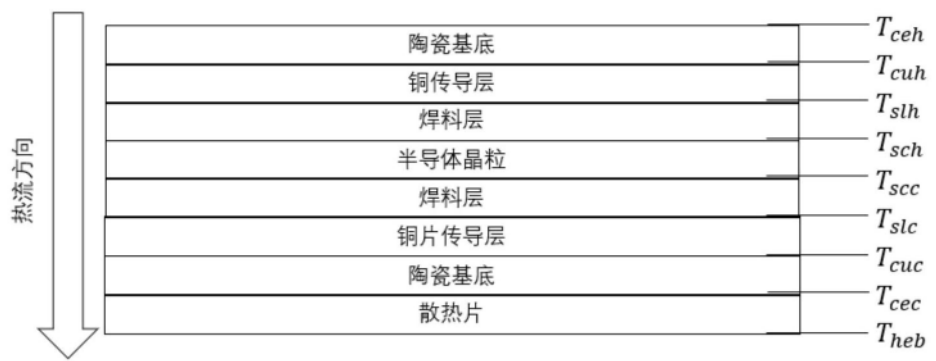


图3