

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.06.019

半导体制冷器工艺设计对制冷性能的影响

高俊

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要:为了分析半导体制冷器工艺设计方法与制冷效率的关系,探讨其工作寿命的影响因素,文章通过改进半导体制冷器基板材料,采用新型胶黏剂,并通过实验来对比分析半导体电偶间不同的铜片排布方式对制冷器制冷性能、寿命的影响。实验结果表明,连接铜片排布回路形式对制冷性能影响不大,但对产品的使用寿命有一定的影响。铜线排列走向简单,电阻变化率低,使用寿命相对较长。

关键词:半导体制冷器;制冷性能;基板;铜片回路

中图分类号:TB651 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)06-0080-04

Influence of Refrigerating Performance by Process Design of Semiconductor Refrigerating Machinery

GAO Jun

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science & Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to analyze technological design of semiconductor refrigerating machinery and refrigeration efficiency, explore the influence factors of its working life, this paper adopted a new type rubber adhesion agent by improving the substrate material of semiconductor refrigerating machinery, and through the experiment to analyze different methods of copper arrangement between semiconductor galvanic cooler cooling performance and characteristic parameters at two aspects of life. The experimental results show that the connection of copper has little influence on the cooling performance of configuration circuit, but has certain influence on the products service life, copper wire arrangement simple, due to its low resistance rate, its service life is relatively long.

Key words: semiconductor refrigerating unit; refrigerating performance; substrate; copper loop

半导体制冷技术因其具有的独特优点而在各行各业得到了广泛的应用^[1-3]。为提高其性能、增强机械强度和稳定性,国内外有关科技人员进行了很多研究工作。宣向春等^[4]提出可在普通半导体电臂对的P型和N型电偶臂之间淀积一层厚度适当的银膜,提高电偶对的制冷性能。李茂德^[5]和任欣^[6]等认为,提高制冷系统热端的散热强度可以改善半导体制冷器的制冷性能,但制冷性能并不能随散热强度的提高无限提高。YANLANASHI M^[7]优化了制冷系统设计方法。此外,GAO Min^[8]等指出电偶臂的长度在很大程度上影响半导体的热电性能。YU Jianlin^[9]等详细研究了制冷单元的个数和电偶臂的长度对制冷性能的影响程度。本

文主要对半导体制冷器的制造工艺进行了分析,讨论了不同的半导体铜片连接回路以及半导体电偶对与基板的黏结性能对半导体制冷器制冷效果及其寿命的影响,并通过实验进行了性能测试,实验结果可以为提高半导体制冷器的制冷性能及产品寿命提供较好的依据,具有一定的实际指导意义。

1 半导体制冷器设计工艺

半导体制冷器的性能主要包括制冷效率和使用寿命,取决于组成半导体制冷器主体的制冷电偶对的设计制造工艺,半导体材料的热电优值系数及半导体制冷器系统的结构等^[10]。本文仅讨论半导体制冷器基板材料以及不同的半导体铜片连接回路对半导体制冷

收稿日期:2015-05-05;修回日期:2015-09-07

作者简介:高俊(1965),男,浙江长兴人,副教授,主要从事机电一体化及自动化控制的教学与研究。E-mail:gj887@163.com

器制冷效果及其寿命的影响。

1.1 基板设计工艺

半导体制冷器的导热绝缘层由陶瓷基板构成,由1个放热面和1个吸热面组成一组,2个面之间由铜片连接不同类型的、相互错开的半导体颗粒,形成回路,如图1所示。

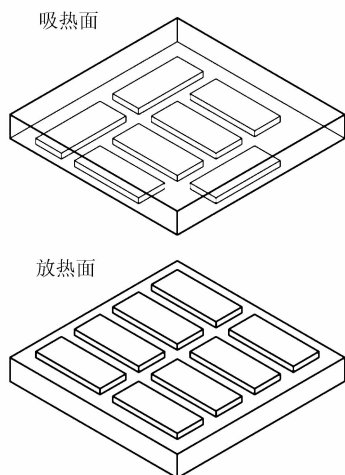


图1 吸热面和放热面基板铜片连接示意图

Figure 1 Diagram of connection by substrate copper for heat-absorbing surface and heating surface

陶瓷基板材料及基板厚度对半导体制冷器制冷效率有显著的影响。设计采用了质量分数为96%氧化铝(Al_2O_3)的陶瓷基板。同时,为提高半导体制冷效率,通过减薄陶瓷基板厚度(由目前的1.00 mm,减薄到0.50~0.13 mm),降低热阻,提高了传热性能,制冷效率COP值得到提高,但成本相应增加;另外,也可以将基板换成氮化铝(AlN),氮化铝热导率为 $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 左右(20℃环境温度下测试),而氧化铝为 $22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 左右(20℃环境温度下测试),热导率提高了约7倍,同样也可以提高COP值,但是基板成本会更高,约为原来的10倍。

1.2 铜片回路连接工艺

将半导体电偶对、基板和接线端子用铜片焊接起来,形成通电回路。实验设计了2种不同回路走线方式A型和B型(CP/127/060/A和CP/127/060/B),如图2~3所示,图中粗线为回路走线路径。

由于基板与半导体颗粒间焊接了铜片,半导体颗粒与基板形成刚性连接,在温度变化的时候材料的内应力很大。因此生产工艺中将半导体颗粒与瓷片用胶黏剂粘接,用于卸去大部分应力,提高产品的寿命。但由于胶黏剂的导热性较差,制冷性能会受到一定影响。本文采用了自主研发的一种胶黏剂,粘接层很薄,热导

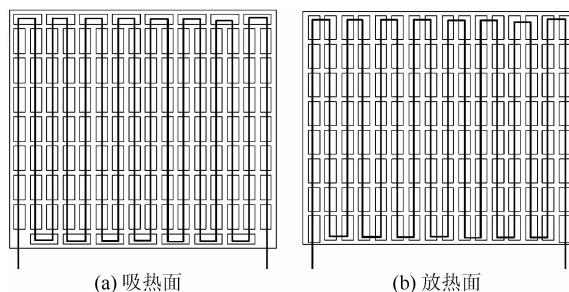


图2 制冷器基板铜片A型排布图

Figure 2 Diagram of configuration for refrigerator substrate copper type A

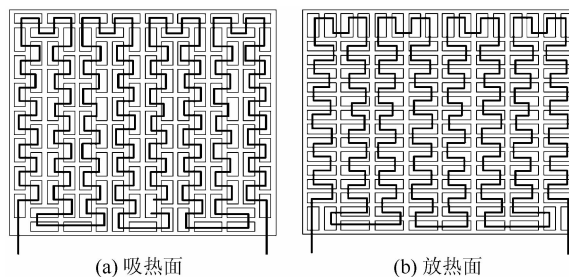


图3 制冷器基板铜片B型排布图

Figure 3 Diagram of configuration for refrigerator substrate copper type B

率相对比较高,使得产品具有一定的市场竞争优势。

2 半导体制冷器性能实验分析

2.1 铜片排布方式对性能的影响

实验现场如图4所示,实验原理如图5所示。实验材料:A型产品和B型产品各5个。实验时,将整个装置放置于真空中,测试仪器中设置好控制温度 $T_h = 50^\circ\text{C}$,先测试最大温度差 $\Delta T_{\max}$ 值。在每个产品的基板上分别选择4个测试点,依次递增施加不同的测试电压(16~20 V),得到测试数据 ΔT 值,拟合曲线,找出极值点。极值点对应的 ΔT 值就是 $\Delta T_{\max}$,其对应的电流就是 $I_{\max}$ 。然后给产品施加 $I_{\max}$ 的电流,通过加热片控制冷热面的温度差 $\Delta T = 0^\circ\text{C}$,测定此时的制冷量 Q_c 值即为 $Q_{c\max}$,即加热片的功率。实验数据如表1~2所示。



图4 实验现场

Figure 4 Field experiment

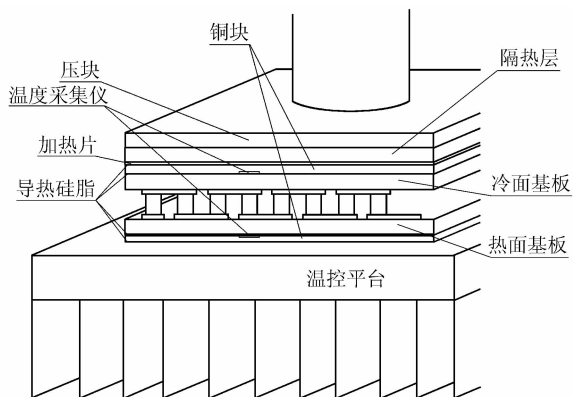


图5 实验装置示意图

Figure 5 Diagram of experiment device

表1 制冷器基板铜片 A 型排布测试结果

Table 1 Testing results of refrigerator substrate copper type A configuration

测试样品	最大温差 $\Delta T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	最大制冷量 Q_{emax}/W	最大电流 $I_{\max}/\text{A}$	最大电压 $U_{\max}/\text{V}$
1	84.362	53.620	5.861	17.803
2	84.411	53.747	5.880	17.830
3	84.377	53.936	5.874	17.864
4	84.380	53.590	5.886	17.880
5	84.266	53.854	5.874	17.856
平均值	84.359	53.749	5.875	17.847

表2 制冷器基板铜片 B 型排布测试结果

Table 2 Testing results of refrigerator substrate copper type B configuration

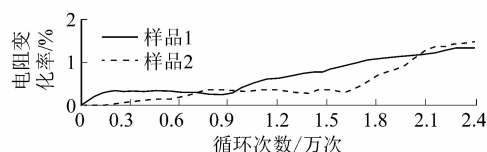
测试样品	最大温差 $\Delta T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	最大制冷量 Q_{emax}/W	最大电流 $I_{\max}/\text{A}$	最大电压 $U_{\max}/\text{V}$
1	84.364	53.684	5.880	17.902
2	84.266	53.869	5.885	17.896
3	84.419	53.392	5.883	17.909
4	84.120	53.435	5.879	17.906
5	84.183	53.373	5.875	17.919
平均值	84.270	53.551	5.880	17.906

由表1~2可知,2种不同铜片排布形式,其温度差 ΔT ,制冷量 Q_c 的数据差异均在实验仪器误差范围内,针对 ΔT , Q_c 这两项来说,铜片回路形式对半导体制冷器制冷效率影响不大。

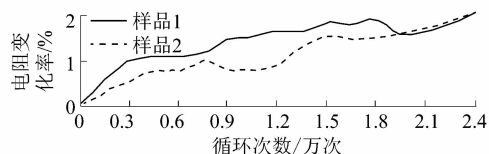
2.2 铜片排布方式对产品寿命的影响

对2种回路的制冷器分别进行制冷—制热循环实验。实验条件:1个循环为1 min(40 s制冷,制冷温度降到0.0℃,电流4.0 A;20 s制热,制热温度升到100.0℃,电流4.5 A);压力 280 ± 20 N,2.4万次循环实验结束。每0.15万次循环测1次电阻,若2.4万次

循环之内,电阻变化率超过10%表示产品失效,实验结束。实验样品选择CP/127/060/A和CP/127/060/B各2组,实验结果如图6所示。



(a) A 型



(b) B 型

图6 CP/127/060/A和CP/127/060/B电阻率变化示意图

Figure 6 Diagram of resistivity change of CP/127/060/A and CP/127/060/B

由图6可知,在2.4万次循环结束时,A型产品2组实验样品的电阻变化率分别为1.35%和1.45%,而B型产品2组实验样品的电阻变化率均在2.04%左右。实验数据表明,A型基板的电阻变化率相对较低,寿命趋势相对较长。

3 结论

通过理论分析和实验研究,得到以下结论:

1) 陶瓷基板材料及基板厚度对半导体制冷器制冷效率有显著的影响:氮化铝(AlN)基板因热导率高于氧化铝(Al_2O_3),可以提高COP值,但其成本会提高;通过减薄陶瓷基板厚度降低热阻,可提高传热性能,提高制冷效率COP值。

2) 半导体颗粒与瓷片用胶黏剂粘接,可卸去大部分应力,提高产品的寿命。但由于胶黏剂的导热性较差,制冷性能会受到一定影响。可采用自主研发的胶黏剂,粘接层很薄,热导率相对比较高,保证产品在市场竞争上具有一定的优势。

3) 通过实验数据对比分析,温差 ΔT 和制冷量 Q_c 的数据差异均在实验仪器误差范围内,针对 ΔT 和 Q_c 来说,回路形式对半导体制冷器制冷效率影响不大。

4) 在寿命方面,在2.4万次循环结束时,A型成品电阻变化率分变为1.35%和1.45%,而B型均在2.04%左右。直观的数据对比显示A型基板的电阻变化率相对较低,寿命趋势相对更长。

(下转第87页)