

半导体制冷片制冷性能评估系统

刘良斌,吴新开,卜志东

(湖南科技大学 信息与电气工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要: 现有半导体制冷元件评估方法成本过高,而且输入口水温与输出口水温不同,会使输入水与输出水的热量的损耗大小不一样;传统的测量方法中,半导体制冷片的赛贝克系数、电阻、热导是通过不同温度下的实验结果估算出来的,这样就导致在计算制冷量大小的时候不精确。为此,提出了一种通过平衡输入与输出温度来避免产生这种误差的方法。

关键词: 半导体制冷;制冷性能;评估系统

中图分类号: TB663

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)02-0082-02

A new evaluation system of refrigeration performance for semiconductor refrigerating element

Liu Liangbin, Wu Xinkai, Bu Zhidong

(College of Information & Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Due to the current semiconductor refrigerating element evaluation method has a high cost. Also, the temperature of input and output water are different. Leads to the heat loss in the input and output water is different. In traditional measuring method, the seebeck coefficient, resistance, thermal conductivity of the semiconductor refrigeration piece is estimated by the experimental results under different temperature. This also leads the calculation of refrigeration capacity is inaccuracy. This paper presents a method to avoid this error by balance the input and output temperature.

Key words: semiconductor refrigeration; refrigeration; performance; evaluation system

半导体制冷也即热电制冷,由于无滑动设备,与传统的机械制冷相比,在工业和军事领域等追求高精度或高可靠性的应用中有着独特的优势。半导体制冷片的制冷效率不高,种类繁多,评估半导体制冷片的制冷性能就成为了设计选型时需要考虑的一个重要因素。部分厂家提供了半导体制冷片不同温度下制冷性能的评估软件(如RMT Ltd),但工艺和材料具有一定的不确定性,这样的方法并不精确,而且大部分公司没有提供这种类型的软件,只给出了最高温差、最大电压、最大制冷量等参数,因而设计一套半导体制冷片评估系统就凸显其必要性了。

半导体制冷片的制冷系数(COP)的评估方法一般是采用给制冷片的冷端流动冷却水,然后求出半导体制冷片冷端的制冷量 Q_L ,例如 CAMPPELL L A^[1]提出的评估方案。

为了提高测试精度, HUANG B J^[2]设计了一套测量半导体制冷片制冷性能系统,该方法通过测量装置,直接计算出半导体制冷片的制冷量。参考文献[3]也提到

过类似的控制方案。但这类系统过于复杂,成本较高,不适用于一般用户和设计者使用。

在以上方案的基础上,本文提出了一种新型的半导体制冷片评估系统,该系统通过调节发热设备的功率,平衡制冷片输入、输出部分的水温,以达到降低误差、简化测量过程的目的。

1 新型半导体制冷片评估方法

半导体制冷模块如图1所示。系统最中间是一个加热片,对它左右两边的交换管进行加热,热交换管由大量的高导热率的紫铜毛细管组成,与半导体制冷片之间通过导热硅胶粘结,由于毛细管的管壁很薄,基本上可以认为加热片和半导体制冷片的冷端温度相同。半导体制冷片采用常见的彭浦制冷厂制造的 $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}\times 1\text{ cm}$ 的半导体制冷片作为实验材料。实验中的两片半导体片每片外形尺寸为 $0.4\text{ cm}\times 0.4\text{ cm}\times 0.6\text{ cm}$,共31对。靠近热交换管的部分是冷端,靠近散热片的部分是热端,散热片采用常用的铝制散热片,散热片的另一端有一个轴

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 87

技术与方法 Technique and Method

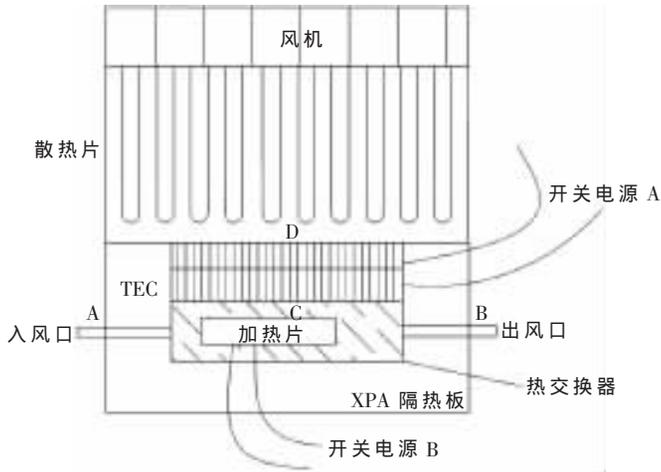


图1 半导体制冷片性能评估示意图

流风机,给散热片提供散热风,以提高散热片的热量散发能力。系统总共需要检测 A、B、C、D 共 4 个点的温度,用 Fluke 型号为 17B 的万用表测量出风口温度与进风口温度,并调节加热片的功率,以达到出风口与入风口温度相同。

2 系统控制方案及比较

测量的流程图如图 2 所示,首先将热交换管两边的半导体制冷片通设定的电压,并将热交换管内通冷却水;检测 A、B 处的温度,并调节风机的转速,以达到 A、B 的温度相同;检测 C、D 处的温度,并调节两热交换管的水流量,并将其记录为 T_L 、 T_H ,调节加热片功率,直到 A、B 温度相同。

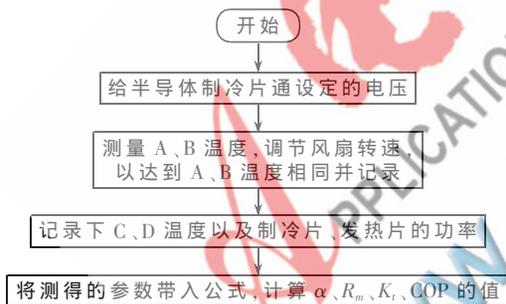


图2 半导体制冷片性能评估流程图

整个实验装置中,制冷片、热交换管要进行隔热设计,使整个系统只有 3 个点与外界交换能量,也即加热片产生的热能等于半导体制冷片从冷端吸收的热量:

$$Q_{JRP} = P = U_{JRP} I_{JRP} = \alpha I_{JRP} (273 + T_L) - \frac{1}{2} I_{JRP}^2 R_m - K_i (T_H - T_L) \quad (1)$$

式中, Q_{JRP} 为加热片功率, P 为加热片输入电功率, U_{JRP} 为加热片两端电压, I_{JRP} 为加热片通过的电流, T_H 为半导体制冷片热端温度, T_L 为半导体制冷片冷端温度。

制冷片冷端产生的热量 Q_L 如下:

$$Q_L = Q_{JRP} + Q_{LOSS} \quad (2)$$

式中 Q_{LOSS} 为外界通过挤塑板传递给半导体制冷片冷端和热交换管处的热量。由于采用了挤塑板作为隔热材料,挤塑板的导热系数为 $0.03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$,而挤塑板内部与

环境温度相差不大,并且热交换面积不大,这里近似地认为 $Q_{LOSS} = 0$ 。

这样的计算方法相对于传统的计算方法要精确很多。因为传统的计算半导体制冷片从冷端吸收热量的方法是测量输入水温度 T_A 与输出水温度 T_B ,然后通过流速和比热容来计算 Q_L 。这样的测量方法中,由于实验时不是理想状态,输入与输出水的温度不同,系统会在水出口处与外界进行热传递,从而增加误差。采用本文方法时,由于输入和输出水的温度是不变的,只要温度绝热做得很好,当达到稳态以后,只要测量出加热片的 U_{JRP} 和 I_{JRP} ,就能很容易地计算出 Q_L 。如果把制冷片的电流和电压分别表示为 I_{TEC} 和 U_{TEC} ,制冷片总的输入功率 Q_P ^[4-5] 可以用以下公式计算出:

$$Q_P = I_{TEC} U_{TEC} = \alpha I_{JRP} (T_H - T_L) + I_{JRP}^2 R_m \quad (3)$$

制冷片的制冷系数 COP ^[4-5] 可以用式(4)计算:

$$COP = \frac{Q_L}{Q_P} = \frac{\alpha^2}{R_m K_i} \quad (4)$$

联立式(1)~式(4),可以分别解出 α 、 K_i 、 R_m 、 COP 的值。由于不直接带入数据解方程,结果会非常复杂,本文没有给出 α 、 K_i 、 R_m 、 COP 的表达式。在实际操作过程中,可以采用先代入数据,然后解方程的方式运算。

在测量过程中,为了提高系统计算的 4 个参数的精度,可以采用多次测量取平均值的方式,这样可以大大降低系统测量所产生的误差。

表 1 是参考文献[1-2]中方法与本文测试方法的比较。

表 1 三种方法的比较

	参考文献[2]中方法	参考文献[1]中方法	本文方法
成本比较	非常高	高	低
精度比较	高	中	较高
复杂度比较	很复杂	较复杂	简单

本测试系统还可以通过控制两端风机的转速来调节热端的温度,以此来评估半导体制冷片在不同热端温度情况下的制冷性能。

对于现有的半导体制冷片评估方法,本文提出了一种操作简单、成本低的测量方法,通过测量 A、B、C、D 4 点的温度改变半导体制冷片、风机、加热片的输入功率,以达到半导体制冷片制冷量与加热片加热量大小相同。然后,计算出 α 、 K_i 、 R_m 、 COP 这 4 个常用半导体制冷片评估参数,简化了传统的评估方案。对半导体制冷片制冷性能的评估方法有一定的改善。但是由于温度是个大时滞量,采用手动控制,调节过程会比较麻烦,调节时间也会比较长,可以考虑采用单片机对加热片两端电压、制冷片两端电压和两端风机的转速进行控制,以实现减少测量时间、加大测量精度的目的。

参考文献

- [1] CAMPBELL L A. Analysis and characterization of thermo-electric module and heat exchanger performance in a hybrid

技术与方法 Technique and Method

- system cooling application[C].27th SEMI-THERM, San Jose, 2011: 48-53.
- [2] HUANG B J, CHIN C J, DUANG C L. A design method of thermoelectric cooler[J]. International Journal of Refrigeration, 2000(23): 208-218.
- [3] BILSKI W J, BALDASSARRE G, CONNORS M. Electronics cooling using a self-contained, sub-cooled pumped liquid system[C]. In 24th Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, San Jose, 2008: 137-141.
- [4] Luo Zhaoxia. A simple method to estimate the physical characteristics of a thermoelectric cooler from vendor datasheets[EB/OL]. [2013-09-10]. <http://www.electronics-cooling.com/2008/08/a-simple-method-to-estimate-the-physical-characteristics-of-a-thermoelectric-cooler-from-vendordatasheets/>.
- [5] 戴维涵, 代彦军, 张鹏, 等. 半导体制冷元件特性参数测量及选用[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(10): 1669-1672. (收稿日期: 2013-09-27)

作者简介:

刘良斌, 男, 1988年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力电子及半导体制冷技术。

吴新开, 男, 1956年生, 教授, 主要研究方向: 电力电子技术, 半导体制冷技术, 非线性控制理论与系统。

卜志东, 男, 1989年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力电子变换及风力发电。

电子技术应用网
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.ChinaAET.com