

文章编号:1007-2780(2012)01-0056-05

基于 TRIZ 理论的 LED 背光源散热研究

雷嗣军,马 青,尹大根,尚 飞,柳奉烈

(北京京东方光电科技有限公司,北京 100176,E-mail:leisijunboe@gmail.com)

摘 要: 介绍了 TRIZ 理论的基本原理和方法,运用矛盾冲突矩阵对液晶显示器 LED 背光源的散热问题进行了分析。由于 LED 背光源散热问题属于物理矛盾,在结合 TRIZ 理论科学效应和现象知识库的基础上,提出了基于条件分离的 LED 背光源散热问题的解决方案。理论分析和模拟计算结果表明,利用半导体的帕尔帖效应对背光源进行散热能获得非常理想的散热效果。

关 键 词: 发明问题解决理论;LED 背光源;散热;半导体制冷

中图分类号: TN13;TB66

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122701.0056

Heat Dissipation of LED Back Light Units Based on TRIZ

LEI Si-Jun, MA Qing, YOON Dae-Keun, SHANG Fei, RYU Bong-Yoel

(Beijing BOE Optoelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100176, China, E-mail: leisijunboe@gmail.com)

Abstract: The basic theory and method of TRIZ is introduced, and the heat dissipation problem of LED back light units with conflict matrix is analyzed. As this problem belongs to physics contradiction, this paper puts forward an effective solution for LED back light units' heat dissipation based on conditional separation and scientific effect-phenomenon knowledge base. The result of theoretical analysis and simulation calculation shows that Peltire effect of semiconductor refrigeration has perfect heat dissipation on LED back light units.

Key words: TRIZ; LED back light units; heat dissipation; semiconductor refrigeration

1 引 言

近年来,由于发光二极管(Light Emitting Diode, LED)具有体积小、耗电量低、使用寿命长、环保、色域广、亮度高等优势,逐渐成为液晶显示器背光的首选光源(LED 产品渗透率已超 60%)。然而采用 LED 作为液晶显示器光源也存在着固有缺陷:LED 的输入功率中,有大约 70%的输入功率转化为热能,会导致 LED 及背光源的温度急剧上升,特别是多颗大功率 LED 同时使用时,发热更加严重^[1]。

2 TRIZ 理论概述

TRIZ 理论是前苏联发明家根里奇·阿奇舒

勒及其合作者在分析大量专利的基础上,总结各种技术发展进化遵循的规律模式及解决各种工程矛盾的创新原理和法则,于 1946 年提出的著名创新理论——发明问题解决理论(Theory of the Solution of Inventive Problems,TRIZ)^[2]。TRIZ 理论认为,发明问题的核心是解决矛盾,设计中不断发现并解决矛盾,是推动产品向理想化方向进化的动力;理想化设计是系统的进化方向,TRIZ 解决问题之初,首先就确定最终理想解,在创新过程中以理想化水平增加的方向作为设计的目标。TRIZ 理论成功地揭示了创造发明的内在规律和原理,着力于揭示和强调系统中存在的矛盾,而不是逃避矛盾;它的最终目标是完全解决矛盾,获得

最终的理解,而不是采取折衷或者妥协的做法;它基于技术的发展演化规律研究整个设计与开发过程,而不再是随机的行为,因此,TRIZ 理论的创新成果具有高效率 and 稳定性。

3 LED 背光源散热分析

在采用 LED 光源的液晶显示器背光源中,LED 的入光方式普遍采用侧入式,利用导光板将 LED 发出的光线均匀传播到背光源的各个方向。这样最大的优点是可以实现薄型化设计,但是也带来了一个问题,即散热问题。

3.1 LED 发热机理

LED 发热的原因有两个:(1)电子在进入半导体区到离开半导体区的全部路程中,都会遇到电阻,从而产生焦耳热;(2)由于 LED 芯片材料的折射系数比周围介质的大得多,致使芯片内部产生的大部分光无法顺利地逸出界面,而在芯片与介质界面产生全发射,返回芯片内部并通过多次内部反射最终被芯片材料或衬底吸收,并以晶格振动的形式变成热,促使结温升高。综合电流注入效率、辐射发光量子效率、芯片外部光逸出效率等,最终只有约 30%~40% 的输入电能转化为光能,其余 60%~70% 的能量主要以非辐射复合发生的点阵振动的形式转化为热能。

3.2 结温上升对 LED 的影响

LED 产生大量的热,如果不能及时散发出去,会使芯片温度急剧升高。芯片温度的升高会增强非辐射复合,进一步削弱发光效率,产生明显的光衰,显著降低光源的使用寿命。另外,LED 多以透明环氧树脂封装,若结温超过固相转变温度(通常为 125 ℃),封装材料会向橡胶状转变并且热膨胀系数骤升,从而导致 LED 的开路和失效^[4]。

LED 发光波长随温度的变化关系为:

$$\lambda_p(t') = \lambda_0(T_0) + \Delta T \times 0.1 \text{ (nm/}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

由式(1)可知,结温每升高 10 ℃,波长向长波漂移 1 nm。

3.3 LED 背光源散热方式

随着液晶显示器薄型化趋势的加快,LED 灯的散热空间越来越小,散热条件愈加恶化,需要采取更有效的方式来降低 LED 芯片温度。可以从两个方面来考虑:首先是提升光能利用率,包括提升量子效率和外部发光效率,需要芯片制造、LED

封装等各环节的技术进步;其次,采用良好的散热结构,将 LED 产生的热量及时散发出去,这是现阶段在 LED 产品发光效率不高状况下的关键举措。

目前,背光源中一般采用的是在放置 LED 灯条的一侧增加散热片^[5](一般为铝箔或铝板),利用热传导和对流的方式进行散热,属于被动散热,它存在以下缺点:散热功能有限,一般只能使温度降低 20% 左右,而且当 LED 灯颗数较多时,散热片的面积将极为可观,这样会显著增加背光源的重量,违背光源轻薄化的要求。

4 TRIZ 的散热方案设计

4.1 理想解确定

应用 TRIZ 理论解决创新问题首先要确定技术系统的理想状态,以此作为发明改进的方向。为了顺应液晶显示器发展趋势的要求,LED 背光源在散热方面的理想状态为:

(1)LED 的发光效率为 100%,背光源无热量产生;

(2)在 LED 发光效率一定的条件下,LED 产生的热量全部散发出去,LED 温度无变化。

4.2 TRIZ 矛盾分析

TRIZ 理论把技术系统中的工程矛盾分为两种:技术矛盾和物理矛盾。技术矛盾是指当用已知方法原理改进系统中的某一个子系统或参数时,会同时带来系统中其他部分参数的恶化,即当参数 A 得到改善时,参数 B 就会恶化。技术矛盾可通过分析和查询阿奇舒勒矛盾矩阵(图 1 所示),运用 40 个发明原理来解决^[6-7]。物理矛盾是指为了实现某个功能,同时对一个子系统或元件提出相反的要求。为解决物理矛盾,阿奇舒勒专门提出了四大分离原理,分别是空间分离、时间分离、基于条件的分离和系统级别的分离。

为了有效地给 LED 降温,背光源的体积必须足够大,以提供有效的散热空间;另一方面,为了达到薄型化的要求,背光源的体积(表现为厚度)要求足够小。上述矛盾可以简要概括为:背光源体积减小与体积增大之间的矛盾。这在 TRIZ 理论中,属于物理矛盾。

综合分析 4 种分离原理的应用特点,针对 LED 背光源的散热问题,本文考虑空间分离和基于条件的分离两种分离方法,结合 TRIZ 的科学效应与现象知识库进行散热方案设计。

恶化特性 \ 改善特性	运动物体重量	静止物体重量	运动物体长度	静止物体长度	运动物体面积	静止物体面积
运动物体重量	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34	
静止物体重量		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2
运动物体长度	8, 15, 28, 34		+		15, 17, 4	
静止物体长度		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40
运动物体面积	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+	
静止物体面积		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+

图 1 阿奇舒勒矛盾矩阵

Fig. 1 Altshuler’s contradiction matrix

4.3 空间分离的散热方案

空间分离,是将矛盾双方在不同的空间上分离来解决问题。

具体实施方案为:改变灯条位置,LED 作为光源与背光源其他部件独立开来,固定在系统上。利用光纤等介质,将 LED 发出的光线导入背光源中。由于将 LED 从原来背光源的狭小空间中解放出来,其散热空间增加,散热条件得到改善,使得温度上升幅度减小,达到保护 LED 的目的。本方案具体实施的技术难度较大,使用光纤作为传导介质,很难保证背光源的亮度与均一性,还可能造成光能利用率低下。

4.4 基于条件分离的散热方案

基于条件的分离,是将矛盾双方在不同的条件下分离来解决问题。可考虑将 LED 背光源的吸热与散热部分分离,并使热量传递可控,提升散热能力。通过查询 TRIZ 科学效应与现象知识库,发现半导体制冷^[8-9]可以有效地实现上述功能。半导体制冷基于帕尔帖效应:当电流流过两种不同导体的界面时,将从外界吸收热量,或向外界放出热量(图 2 所示),吸收和放出的热量与电流强度 I 成正比。半导体材料具有明显的帕尔帖效应,是目前最好的此类制冷材料。

与常规冷却方式相比,半导体制冷具有以下优势:(1)可以把温度降至室温以下;(2)可精确控温(使用闭环温控电路,精度可达 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$);(3)具有高可靠性(制冷组件为固体器件,无运动部件,寿命超过 20 万小时,失效率低);(4)不产生噪音。

使用半导体制冷的 LED 背光源结构设计方案如图 3 所示。

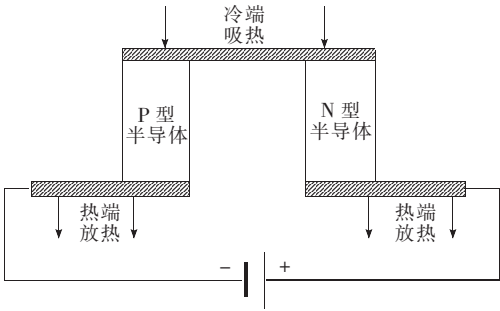


图 2 半导体制冷原理

Fig. 2 Principle of semiconductor refrigeration

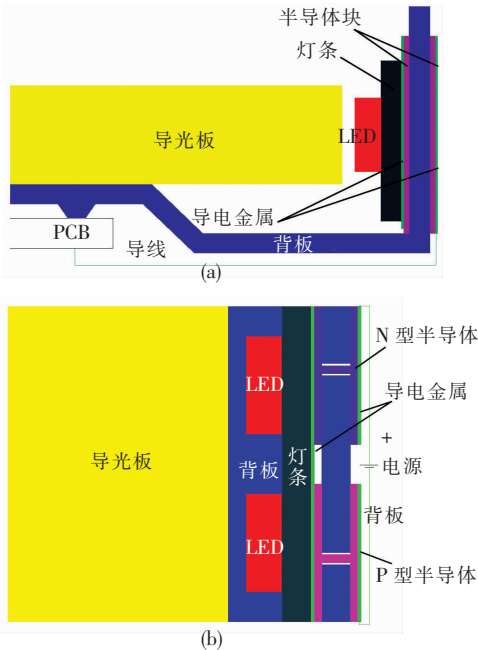


图 3 LED 背光源示意图。(a)截面图;(b)俯视图。

Fig. 3 Schematic of LED back light units. (a) Section view;(b)Vertical view.

在上述 LED 背光源中,半导体制冷器件由 P 型半导体、N 型半导体和导电金属组成,由背光源电路板提供直流电源,P 型半导体接电源负极,N 型半导体接电源正极。在背板靠近 LED 灯条的一侧(图 3 背板左侧),P 型半导体和 N 型半导体上下对称布置,并通过导电金属块将二者连接起来,通入电流后在此金属面上形成吸热区域,对 LED 灯条进行降温;在背板的外侧(图 3 背板右侧),P 型半导体和 N 型半导体上下对称布置,分别与导电金属块相连,然后与电源连接,通入电流后在此面上形成放热区域。背板左右两侧的两个 P 型半导体之间、两个 N 型半导体之间分别导通连接,具体方式可依实际需要而定(本方案中是在

背板上穿孔使二者连接)。另外在半导体与背板之间作绝缘处理。在多颗 LED 的背光源中,为了实现比较好的散热效果,设计使用一对 P-N 半导体对两颗 LED 灯进行散热。即每一对 P-N 半导体对应两颗 LED,多对 P-N 半导体之间通过串联连接在一起。

5 半导体制冷的散热计算和仿真分析

以本公司 119 cm(47 in)液晶显示模块背光源为例,进行背光源的半导体制冷散热计算。(半导体制冷器设计原理参见文献[8])。

本款 119 cm(47 in)液晶显示模块用于液晶电视中,使用了 264 颗 5630 型 LED 灯,单颗 LED 的正常功耗为 0.396 W,LED 的发光效率约为 30%。通过测试,工作时 LED 的最高温度为 55 ℃(有散热片的情况下)。现采用半导体制冷,希望将 LED 灯条的温度降低到室温(25 ℃,绝对温度 298 K)。根据热平衡,需要将 LED 工作中产生的热量全部吸收。计算时以每两颗 LED 灯为一组,这样每一对半导体制冷器冷端需要吸收的热功率(即产冷量)为:

$$Q_0 = W_{LED} \times (1 - 30\%) \times 2 = 0.396 \times 0.7 \times 2 \text{ W} = 0.554 4 \text{ W} \tag{2}$$

半导体材料选择碲化铋^[10],其电学参数如下:
优值系数 $Z=0.003 5 \text{ K}^{-1}$
温差电动势 $\alpha_n=\alpha_p=1.8 \times 10^{-4} \text{ (V/K)}$
导热率 $\sigma_n=\sigma_p=800(1/\Omega \cdot \text{cm})$

由于制冷器冷端和灯条之间、热端与空气介质之间存在着温差,因此制冷器冷热端温差比灯条与环境之间温差大(一般设温差大于 5 ℃)。制冷器冷端温度 $T_c=295 \text{ K}$,热端温度 $T_h=300 \text{ K}$,温差 $\Delta T=5 \text{ K}$ 。此温差状态下制冷器的制冷系数(即单位产冷量需要消耗的电功率)为:

$$\epsilon = \frac{T_c}{T_h - T_c} \cdot \frac{\sqrt{1 + \frac{1}{2}Z(T_c + T_h)} - \frac{T_h}{T_c}}{\sqrt{1 + \frac{1}{2}Z(T_c + T_h)} + 1} \approx 6.3 \tag{3}$$

一对 P-N 制冷器消耗的电功率为:

$$W_{P-N} = \frac{Q_0}{\epsilon} = 0.554 4 \text{ W} / 6.3 = 0.088 \text{ W} \tag{4}$$

设每一对半导体两端的电压 $U=1.5 \text{ V}$,则流过半导体制冷器两端的电流为:

$$I = W_{P-N} / U = 0.088 / 1.5 \text{ A} = 0.058 7 \text{ A}$$

设半导体元件截面积为 S ,长度为 L ,二者存在以下关系:

$$\frac{L}{S} = \frac{\sigma(|\alpha_n| + |\alpha_p|)\sqrt{1 + \frac{1}{2}Z(T_c + T_h)}}{2\left[\sqrt{1 + \frac{1}{2}Z(T_c + T_h)} - 1\right]} \Delta T = 3.73 \text{ cm}^{-1} \tag{5}$$

为了有效利用材料,设计 P 型半导体和 N 型半导体的截面与 LED 的截面相同。LED 的外形尺寸为 5.6 mm×3 mm×0.9 mm,半导体截面积为:

$$S = 5.6 \times 3 \text{ mm}^2 = 16.8 \text{ mm}^2 = 0.168 \text{ cm}^2 \tag{6}$$

故半导体的长度为:

$$L = S \times 3.73 = 0.168 \times 3.73 \text{ cm} = 0.62 \text{ cm} \tag{7}$$

单个 P 型或 N 型半导体的长度为 0.31 cm。

以上是对半导体制冷器中的一对 P-N 半导体进行计算,其他 P-N 半导体采用相同的参数和结构布置,彼此串联连接。

为验证上述结构的散热效果,在有限元软件

中建立了 LED 背光源散热结构的有限元分析模型(图 4)。计算结果表明,当半导体中电流为 0.058 7 A 时,LED 的最高温度为 28.84 ℃,比环境温度略高。同时分析得出了 LED 最高温度随电

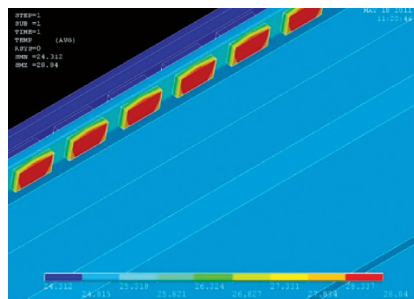


图 4 背光源温度分布

Fig. 4 Temperature distribution of back light units

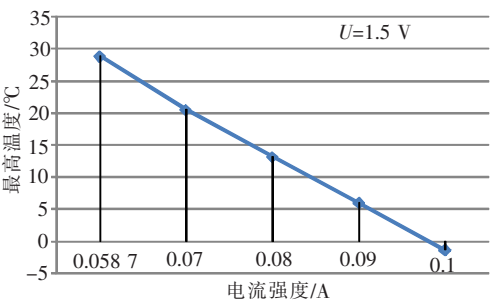


图 5 LED 温度随电流变化关系
Fig. 5 Relationship between temperature and current

流大小变化的关系(图 5)。

从图 5 中可以看出,随电流的增加,LED 最高温度直线下降,这也验证了半导体的吸热量与电流成正比的关系。当电流接近 0.1 A 时,可以使 LED 的温度降低到摄氏零度以下。

上述 LED 散热结构中,背板右侧的半导体块和导电金属的放置位置、PCB 板以及电源布线可

根据实际情况灵活选择,只需要满足形成回路的要求,就可实现将吸热与散热的部分分离开来(比如将散热部分放置在系统外部)。本方案实现了 LED 背光源吸热与散热部分的分离,采用主动制冷方式大大提高了背光源的散热能力,能将 LED 灯条的温度降到室温以下,达到了既能对 LED 进行有效散热,又能降低背光源厚度的目的,使原来的物理矛盾得到了完美的解决。

6 结 论

TRIZ 理论成功揭示了创造发明的内在规律和原理,快速确认并解决了系统中存在的矛盾,而且它是基于技术的发展进化规律来研究整个产品的发展过程。相较于传统发明创新方法:头脑风暴法和试错法,TRIZ 理论的最大特点是有明确的解决问题方向,即朝着理想解所在的方向进行发明改进。因此,运用 TRIZ 理论可以大大地加快发明创造的过程,显著提升液晶显示产品的创新水平。

参 考 文 献:

[1] 苏达,王德苗. 大功率 LED 散热封装技术研究 [J]. 照明工程学报,2007,18(2):69-71.
[2] 丁俊武,韩启玉,郑称德. 创新问题解决理论——TRIZ 研究综述 [J]. 科学学与科学技术管理,2004,25(11):53-60.
[3] 杨清亮. 发明是这样诞生的:TRIZ 理论全接触 [M]. 北京:机械工业出版社,2006:7.
[4] 苏达,王德苗. 大功率 LED 散热封装技术研究的新进展 [J]. 电力电子技术,2007,41(10):13-15.
[5] 蔡勇,邵旭敏,沈嘉平,等. RGB-LED 背光系统的散热研究 [J]. 照明工程学报,2010,21(4):79-84.
[6] Domb E. The 39 Features of Altshuller's Contradiction Matrix. The TRIZ Journal[EB/OL]. [2006-05-30]. <http://www.triz-journal.com/archives/1998/11/d/index.htm>.
[7] Domb E. 40 Inventive principles with examples. The TRIZ journal [EB/OL]. [2006-05-30]. (<http://www.triz-journal.com/archives/1997/07/b/index.html>).
[8] 徐德胜. 半导体制冷与应用技术 [M]. 上海:上海交通大学出版社,1991.
[9] 毛佳妮,申丽梅,李爱博,等. 半导体制冷器制冷性能的综合影响因素探讨及其优化设计分析 [J]. 流体机械,2010,38(7):68-73.
[10] 刘华军,李来风. 半导体热电制冷材料的研究进展 [J]. 低温工程,2004,(1):32-38.