

TRIZ 理论在半导体激光器耦合封装中的应用

唐佳, 徐婷, 胡友旺
(中南大学, 长沙 410000)

摘要: **目的** 解决在同轴型半导体激光器与光纤耦合封装过程中, 由于隔离器的引入造成的耦合速度慢、生产率低, 以及隔离器与激光器的封装设备中电磁铁拾放隔离器的机构在拾取隔离器后难以释放等问题。**方法** 应用 TRIZ 理论矛盾矩阵解决发明问题中技术冲突的方法, 提出将隔离器与激光器预先封装在一起再与光纤耦合的工艺流程。**结果** 设计出了全新的拾放机构, 优化后的实验样机将 1 个带隔离器的同轴型半导体激光器与光纤的耦合封装时间由原来的 2 min 缩短到了 40 s。**结论** 新的工艺流程大大降低了整个器件封装的难度, 提高了耦合效率。

关键词: TRIZ 理论; 矛盾矩阵; 创新设计; 耦合封装

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0128-05

Application of TRIZ Theory in Coupling and Packaging of Semiconductor Laser

TANG Jia, XU Ting, HU You-wang
(Central South University, Changsha 410000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the slow coupling speed and low productivity caused by the introduction of isolator in the process of coupling and packaging of coaxial semiconductor laser and optical fiber, and to solve the problem that the mechanism of electromagnet cannot release the isolator after picking up in the packaging equipment for the isolator and the laser. The technical conflicts were solved in the method of TRIZ contradiction matrix. A technological process that the isolator and laser were encapsulated first and then coupled with the optical fiber was proposed. A brand new pick-and-place mechanism was designed. The optimized experimental prototype reduced the coupling time of the coaxial semiconductor laser with isolator and the optical fiber from 2 min in the original process to 40 s. The new technological process has greatly reduced the difficulty in packaging the entire device and improved the coupling efficiency.

KEY WORDS: TRIZ theory; contradiction matrix; creative design; coupling and packaging

在光纤通信系统中, 激光器是将电信号转换成光信号的关键器件, 是光传输系统中的“心脏”, 但它易受到系统中回返光的影响, 使工作不稳定^[1], 如引起频率漂移、信号强度变化、噪声增大等。光隔离器是一种对正向传输光损耗很小, 而对反向光损耗很大的非互易性器件, 在激光器与耦合光纤之间放置光隔离器可以起到直接隔离反射激光器芯片的回返光的作用^[2]。目前, 激光器与光纤的耦合封装过程中, 由于隔离器的引入, 如若隔离器的偏振方向与激光的偏

振方向不一致, 会导致光纤中接收到的光功率非常微弱。在耦合过程中, 要反复转动隔离器来寻找光功率的最大值, 激光器与光纤的耦合封装效率受到了极大的限制。TRIZ 理论 (发明问题解决理论) 已经在军事、航空航天、汽车、化工、优化专利应用和增强专利保护^[3]等领域得到了广泛的应用, 但在光电子器件耦合封装领域应用较少, 文中应用 TRIZ 理论对带隔离器的同轴型半导体激光器与光纤的耦合封装工艺以及隔离器的拾放装置进行分析。

收稿日期: 2017-01-06

基金项目: 国家自然科学基金 (51075402, 50975293)

作者简介: 唐佳 (1990—), 男, 中南大学硕士生, 主攻信息器件制备技术。

通讯作者: 胡友旺 (1981—), 男, 博士, 中南大学副教授, 主要研究方向为光电子器件。

1 TRIZ 理论简介

TRIZ理论是由前苏联发明家、教育家根里奇·阿奇舒勒和他的团队通过研究分析全世界近250万份专利和创新案例后，总结出的一套系统化的创新问题解决方法。TRIZ理论成功地归纳总结出了发明创造的原理和内在规律，为揭示和解决系统中的矛盾提供了一套切实可行的理论方法^[4]。TRIZ理论的应用非常广泛，其最主要的应用领域之一为机械设计制造领域^[5]，已在管道机器人^[6]、海藻夹苗机械手^[7]、汽车^[8]、绿色制造^[9]、专利规避^[10]等方面得到了广泛应用。根据具体问题的不同，TRIZ理论的建模方式也不一样。在机械设计领域，TRIZ理论中最适用于解决设备中存在问题的建模方式是冲突建模^[11]。运用技术冲突和阿奇舒勒矛盾矩阵解决具体项目问题的一般步骤见图1。

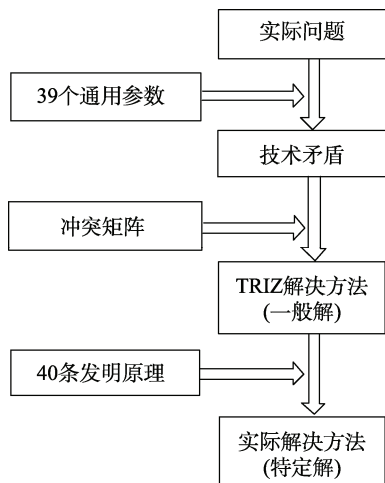


图1 TRIZ矛盾矩阵解决问题流程
Fig.1 The problem-solving process of contradiction matrix of TRIZ

1.1 技术参数

技术冲突是系统中的一对特殊的矛盾，指在系统中引入一个作用的同时可能会导致有用及有害的2种结果。冲突在各类产品的设计之中是非常普遍的，在实际应用中碰到的冲突也各不相同。TRIZ理论归纳出了工程领域内常用的表述系统性能的39个通用工程参数来描述冲突^[12]（目前最新的理论，已经将工程参数扩充到48个，并且提出了商用参数共31个^[13]）。

1.2 TRIZ 矛盾矩阵

TRIZ矛盾矩阵由39×39个通用工程参数和40个创新原理构成。矩阵的第1行表示恶化的参数，第1列表示需要改善的参数。在实际应用中，首先要用至少2个通用工程参数来描述系统中的冲突。有待改善的参数和恶化的参数就是一对需要解决的技术矛盾，然后在矛盾矩阵中找出解决矛盾的发明原理。文中用到的参数见表1。

表 1 矛盾矩阵
Tab.1 The contradiction matrix

改善的参数	恶化的参数	
	运动物体的体积	制造精度
力	动态化，预先反作用，等势，热膨胀	替代机械系统，气动或液压系统，热膨胀，状态转变
产能/生产率	抽取，普遍，抛弃和再生部件，预处理	机械振动，预处理，改变颜色，分割

1.3 TRIZ 创新原理

TRIZ中的40个发明原理是对人类发明创新所遵循方法的高度总结，是阿奇舒勒通过分析和总结大量专利而提炼出来的。40个发明原理的提出给解决发明问题指明了方向，使设计过程中看似不可能解决的矛盾可以很快地找到解决的办法。当前，40个发明原理的应用已经扩展到航空航天、汽车，家电、教育、医疗、企业管理等当今社会的各个领域。实践证明这些发明原理对于解决工程问题是非常实用的。

2 利用矛盾矩阵解决问题

2.1 对耦合工艺的优化

隔离器的结构见图2。偏振器置于法拉第旋转器前后两边，其透光轴方向彼此呈45°。半导体激光器发出的光具有偏振性^[14]，偏振光经过偏振器P1后，在法拉第旋光效应作用下到达偏振器P2时，其偏振方向刚好与P2的透光轴方向一致，光信号顺利通过。由于法拉第旋光效应偏转方向与入射方向无关，反过来，由光路引起的反射光经过P2到达P1时，其偏振面与P1透光轴夹角变成90°，而不能通过偏振器P1，起到了反向隔离的作用。

带隔离器的激光器与光纤的耦合封装结构见图3。目前工厂的封装工艺为：耦合设备的夹具分别夹持封焊管体与尾纤尾柄，将预先压装了隔离器的保护套套在尾纤上，尾纤另一端连接光功率计；耦合设备进行寻光搜索，使尾纤端面找到激光器焦点位置，当

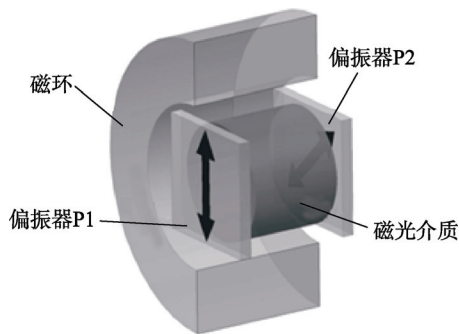


图 2 隔离器结构
Fig.2 The structure of isolator

光功率计检测到最大值时,用激光焊接将尾纤与保护套焊接在一起;尾纤绕自身轴线转动搜索隔离器偏振角,由于光纤通光直径小($9\text{ }\mu\text{m}$),且转动后即使偏差 $2\text{ }\mu\text{m}$,光功率变化就有 0.5 dB 以上^[15],所以在这一过程中隔离器每转动1个搜索步距角,激光器就要做1次xy方向的平面搜索来确认是否找到最大值,找到最大值后完成保护套与封焊管体的激光焊接。由于隔离器每转动1个搜索步距角,激光器就要做1次xy方向的平面搜索,所以第3步在整个耦合焊接过程中耗时较多。

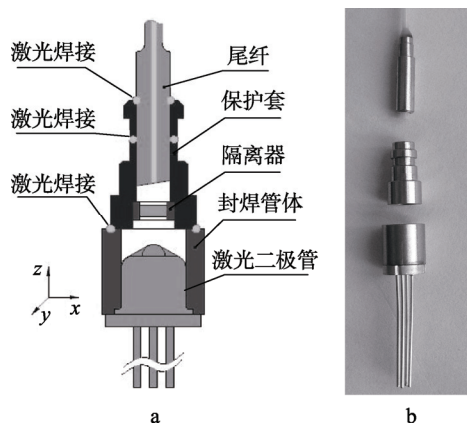


图3 带隔离器的激光器与光纤的耦合封装结构
Fig.3 The packaging structure of coaxial laser diode with optical fiber

由问题的分析可知,要提高耦合设备的效率,就必须降低搜索精度,而光电子器件封装对精度要求高,精度低了达不到器件性能要求,因此存在技术矛盾。分析得出改善参数和恶化参数分别为产能/生产率和制造精度,查询矛盾矩阵,得到4条发明原理可以用来解决该矛盾,分别是分割、预处理、机械振动、改变颜色。受分割和预处理原理的启发,改变器件封装结构,将隔离器和保护套分开,预先将隔离器与激光器封装在一起,见图4。

预先单独封装隔离器的好处在于光功率计探测器的探测面积大,可以直接探测从隔离器里面出来的光。避免了因为经过光纤后再探测光功率引起的需要多次高精度寻光的问题。有效降低了隔离器的封装难度,大大提高了整个器件耦合焊接的效率。

2.2 对隔离器拾放方案的优化

隔离器外形是一个强磁磁环,在设计拾取机构时很容易想到利用隔离器自身的强磁特性,让其吸附在中空的转轴上,角度调整完成后释放时也很容易想到利用电磁铁磁场反向的方式将隔离器弹离转轴。在实际操作中,受到探测器感光面直径只有 3 mm 的限制,探测器端面离激光器上表面的距离需控制在 $4\sim 6\text{ mm}$,见图5。电磁铁的体积受限,且电磁铁铁芯中部被掏空,磁性被削弱,这就造成了电磁铁反向斥力不足以超过隔离器强磁铁在电磁铁铁芯上的吸附力,隔

离器无法释放。

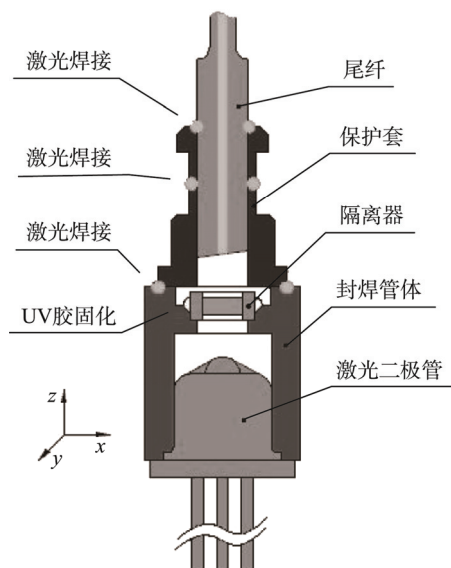


图4 优化后的器件封装结构
Fig.4 Optimized device package structure

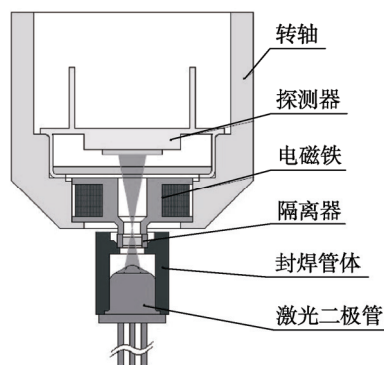


图5 电磁铁拾放隔离器结构
Fig.5 The isolator pick-and-place structure of electromagnet

要使电磁铁反向磁场强度增大,就必须增大电磁铁体积,而电磁铁体积又受到隔离器与探测器间距离的限制,存在技术矛盾。分析得出改善参数和恶化参数分别为力和运动物体的体积,查询矛盾矩阵,得到4条发明原理可以用来解决该矛盾,分别是动态化、预先反作用、等势、热膨胀。

受动态化原理启发,去掉电磁铁,将原先吸引隔离器的铁芯前端分割成2个可以相互移动的部分,见图6。隔离器吸附在转轴前端转动时,拨片紧贴转轴,不影响隔离器转动。当隔离器角度调整完成后,拨片在弹簧的作用下将隔离器从转轴前端剥离开,并顺利压入封焊管体。

3 实验

文中方案的实验装置见图7。实验中隔离器能很好地被拾取,角度调整好后也能顺利地释放。该方案

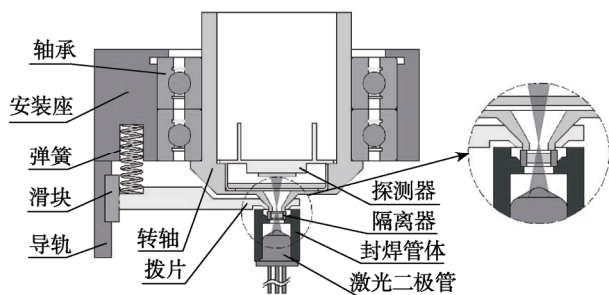


图 6 改进后隔离器拾放装置

Fig.6 The optimized pick-and-place structure

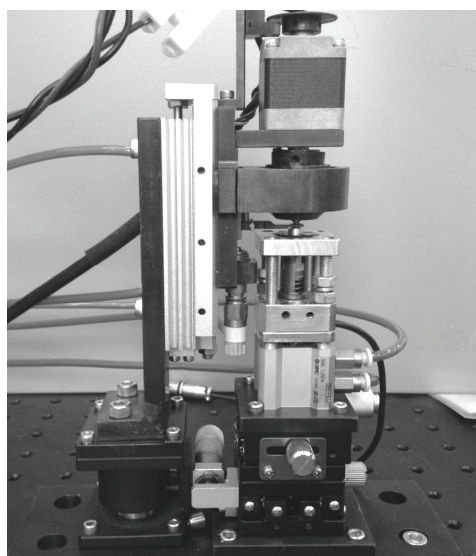


图 7 实验装置

Fig.7 The experimental device

还可以缩短探测器端面与激光器的距离,从而可以使用更小探测面积的探测器。由于探测器的价格随探测面积的增加而增加,因此在一定程度上也缩减了成本。在耦合工艺中,该设备的引入大大降低了带隔离器的同轴型半导体激光器的耦合封装难度,摒弃了原工艺中隔离器每转动一个角度需做一次耗时的精确搜索的过程,将 1 个带隔离器的同轴型半导体激光器耦合封装到光纤的时间由原工艺的平均 2 min 缩短到 40 s。目前已在工厂得到了广泛的应用,有效提高了带隔离器的同轴型半导体激光器的耦合封装效率。

4 结语

通过 TRIZ 对问题进行了描述分析,运用冲突矩阵解决技术矛盾问题的流程,对带隔离器的同轴型尾纤激光器封装工艺的创新设计提供了重要的思路,对隔离器与激光器封装设备中的隔离器拾放机构提出了切实可行的创新方案。采用新的方案设计,制作完成了隔离器与激光器的封装样机,样机能很好地完成预想动作,效果令人满意。实践证明,TRIZ 理论具有很强的实用性,运用 TRIZ 理论可大大加快人们创

造发明的进程,且能得到高质量的创新产品。研究和应用 TRIZ 理论对光电子器件封装设备的创新设计具有重要的理论和现实意义。

参考文献:

- [1] ZERVAS M N, LAMING R I. Efficient Erbium-Doped Fiber Amplifiers Incorporating an Optical Isolator[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics: A Publication of the IEEE Quantum Electronics and Applications Society, 1995, 31(3): 472—480.
- [2] 张凯平. 半导体激光器的偏振特性及其在光纤耦合中的应用[D]. 长春: 长春理工大学, 2012.
ZHANG Kai-ping. Polarization Characteristics of Semiconductor Lasers and Their Application in Fiber Coupling[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2012.
- [3] ZHENG L, ATHERTON M, HARRISON D, et al. Identifying Patent Conflicts: TRIZ-Led Patent Mapping[J]. World Patent Information, 2014, 39(12): 11—23.
- [4] ILEVBAR I M, PROBERT D, PHAAL R. A Review of TRIZ and Its Benefits and Challenges in Practice[J]. Technovation, 2013, 33(2): 30—37.
- [5] 吴继军, 肖更生, 徐玉娟, 等. TRIZ 理论在果汁杀菌技术中的应用[J]. 热带作物学报, 2016, 37(3): 627—632.
WU Ji-jun, XIAO Geng-sheng, XU Yu-juan, et al. Application of TRIZ in Fruit Juice Sterilization[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(3): 627—632.
- [6] 夏文涵, 王凯, 李彦, 等. 基于 TRIZ 的管道机器人自适应检测模块创新设计[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 58—67.
XIA Wen-han, WANG Kai, LI Yan, et al. Innovative Design for Adaptive Detection Module of In-pipe Robot Based on TRIZ[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 58—67.
- [7] 刘晓敏, 黄水平, 陈智钦, 等. 基于 TRIZ 与 AD 的海草夹苗机械手概念创新设计及可靠性研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 40—46.
LIU Xiao-min, HUANG Shui-ping, CHEN Zhi-qin, et al. Conceptual Innovation Design of Seaweed Planter Manipulator Based on TRIZ & AD and Reliability Analysis[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 40—46.
- [8] 于振环, 刘顺安, 张娜, 等. 基于 TRIZ 理论提高车辆转弯工况下的稳定性[J]. 吉林大学学报, 2014, 44(2): 325—329.
YU Zhen-huan, LIU Shun-an, ZHANG Na, et al. Stability of Vehicles Cornering Case Based on TRIZ Theory[J]. Journal of Jilin University, 2014, 44(2): 325—329.
- [9] 鲍宏, 刘志峰, 胡迪, 等. 应用 TRIZ 的主动再制造绿色创新设计研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5):

- 33—39.
- BAO Hong, LIU Zhi-feng, HU Di, et al. Research on Green Innovation Design Method of Active Manufacturing Using TRIZ[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 33—39.
- [10] 江屏, 王川, 孙建广, 等. IPC 聚类分析与 TRIZ 相结合的专利群规避设计方法与应用[J]. 机械工程学报, 2015(7): 144—154.
- JIANG Ping, WANG Chuan, SUN Jian-guang, et al. Method and Application of Patented Design Around by Combination of IPC Cluster Analysis and TRIZ[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015(7): 144—154.
- [11] 李坤, 田树林, 胡森, 等. 基于 TRIZ 理论的香烟包装设备创新设计[J]. 包装与食品机械, 2014(5): 58—61.
- LI Kun, TIAN Shu-lin, HU Sen, et al. The Packaging Innovative Design of Tobacco Machine Equipment in TRIZ[J]. Packaging and Food Machinery, 2014(5): 58—61.
- [12] 阿奇舒勒·根里奇. 创新算法: TRIZ、系统创新和技术创造力[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- ALTSHULLER G. The Innovation Algorithm TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2008.
- [13] 周永清, 臧铁钢, 吴欣, 等. TRIZ 应用研究综述及展望[J]. 江苏信息科技, 2015(14): 66—69.
- ZHOU Yong-qing, ZANG Tie-gang, WU Xin, et al. Review and Prospect of the Application of TRIZ[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2015(14): 66—69.
- [14] 季杭峰, 黄德修, 林斌, 等. 高隔离度的自由空间型光隔离器[J]. 半导体光电, 2002, 23(1): 12—15.
- JI Hang-feng, HUANG De-xiu, LIN Bin, et al. Free Space Optical Isolator with High Isolation[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2002, 23(1): 12—15.
- [15] 郑煜, 陆文龙, 邓圭玲, 等. 半导体激光器与单模光纤的球透镜耦合分析[J]. 航空精密制造技术, 2012(1): 23—25.
- ZHENG Yu, LU Wen-long, DENG Gui-ling, et al. Ball Lens Coupling Analysis of Semiconductor Laser to Single Mode Fibers[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2012(1): 23—25.