

## TRIZ 理论在制备多孔阳极氧化铝模板过程中的应用

王天堃<sup>1</sup>, 曹兆霞<sup>1</sup>, 李娟<sup>1</sup>, 张中月<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学 物理学与信息技术学院 陕西西安 710119)

**摘要:** 多孔阳极氧化铝模板 (anodic aluminum oxide, AAO) 由于具有制备廉价, 成品结构高度有序性、组装方法多样等特点, 在纳米材料、功能材料等领域已被广泛地研究和应用。制备 AAO 的过程中需要在电解液中进行阳极氧化, 氧化过程容易出现铝 (氧化铝) 被击穿的现象。TRIZ 理论正是解决各种工程及生产问题的方法, 基于 TRIZ 理论, 进行了功能分析, 技术矛盾分析, 并利用阿奇舒勒矩阵以及标准解, 最终找到了避免 AAO 在氧化过程中被击穿的可行方案。

**关键词:** TRIZ; AAO 模板; 阿奇舒勒矛盾矩阵; 标准解

**中图分类号:** 04-33 **文献标识码:** A

## Application of TRIZ theory in the preparation of porous anodic aluminum oxide

Wang Tiankun<sup>1</sup>, Cao Zhaoxia<sup>1</sup>, Li Juan<sup>1</sup>, Zhang Zhongyue<sup>1</sup>

(1.School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Anodic aluminum oxide (AAO) has been widely researched and applied in nanomaterials, function materials and so on, for its cheap cost, well ordered structural and various methods to assemble. In the progress of preparation of AAO, the Al sheet will be oxidized in the electrolyte, but the Al sheet is easily staved in this progress. TRIZ theory is a good method to solve the problem in engineering and production. Through TRIZ theory, we find the solution to the problem that Al sheet will be staved by functional analysis, engineering contradictions, Altshuler's matrix and standard inventive solutions.

**Keywords:** TRIZ; AAO; Altshuler's matrix; standard inventive solutions

### 0 引言

TRIZ 是由前苏联发明家根里奇·阿奇舒勒分析了 20 多万件发明专利后总结而来的一套发明问题解决理论的方法<sup>[1]</sup>。TRIZ 理论是目前公认的最有效的创新方法<sup>[1-3]</sup>。TRIZ 理论成功揭示了创造发明与工程问题解决的内在规律和原理, 即不采取妥协的办法, 而是着力解决系统中的矛盾问题, 最终获得最易行、最理想的解决方案。

利用 TRIZ 理论解决问题时大致可分为以下步骤, 如图 1 所示。



图1 TRIZ解决问题步骤

Fig.1 The steps to resolve problem by TRIZ theory

### 1 AAO 模板制备简介

AAO 制备简单, 孔洞有序性好, 有良好的热稳定性和化学稳定性, 其优良的结构形态在功能性应用中具有独特的优越性 [4-5]。利用 AAO 模板的有序纳米孔道阵列结构可制备低维的光学、电磁学、生物学等纳米材料, 这显示了其广阔的应用前景 [6-7]。图 2 为 AAO 模板制作流程示意图。其中最后一步 (扩孔) 不是必要环节。

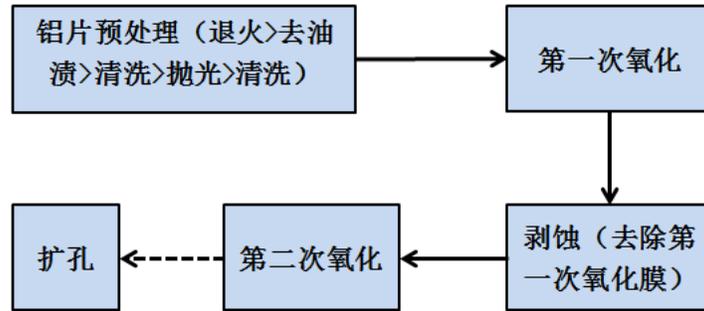


图 2 AAO 模板制作流程  
Fig.2 The process of AAO preparation

电解槽示意图如图 3 所示，铝片抛光的一面朝向电解液，另一面朝向冷却液；电源阳极直接与铝片接通，电源阴极与石墨或 Pt 接通；磁子通过磁力搅拌器转动。

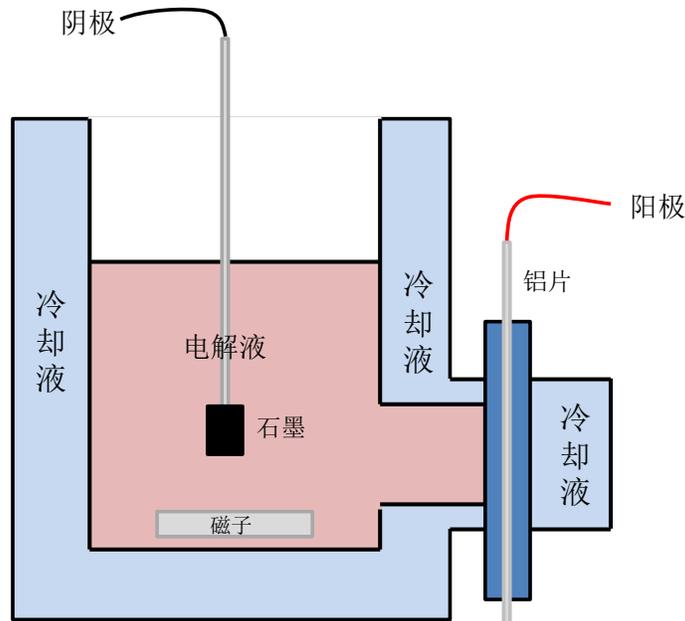


图3 实验装置图  
Fig.3 The experimental device

## 2 初始问题描述

以  $2\ \mu\text{m}$  厚的铝板制备孔径为  $200\ \text{nm}$  的 AAO 为案例

在完成第一步铝片预处理后，进行第二步第一次氧化，反应条件（环境）如下：

电解液选用草酸与硫酸的混合液，氧化过程中使冷却液保持在  $-2^\circ\text{C}$ ，加电压  $140\ \text{V} / 1\ \text{A}$ （反应电流  $1\ \text{A}$  为最大电流，反应过程中应小于  $1\ \text{A}$ ，并且随着反应的进行应逐渐减小），反应时间为 90 分钟。整个氧化过程中需要用磁力搅拌器搅拌。

在实验过程中，有时发现反应电流会从  $0.6\ \text{A}$  左右持续增大，当电流增大到  $0.85\ \text{A}$  左右并还有增大的趋势时，铝（氧化铝）片已经被击穿。并且通电后在阴极附近会产生大量气泡，由于磁子的搅拌，会使阴极产生的气泡与铝（氧化铝）片接触，气泡与铝（氧化铝）接触后也会导致铝（氧化铝）片散热不均，发生局部击穿，从而导致了整个实验的失败。

## 3 AAO 制备装置功能分析

功能分析是一个分析问题的工具，它可以让我们识别系统以及超系统中的各个组件的功能，

分析他们的特性、成本等等。功能分析是 TRIZ 中绝大多数工具（因果分析、剪裁、标准解、ARIZ 等）的基础<sup>[1-3,8]</sup>。

根据功能分析可以将制备 AAO 第一次氧化过程中出现的铝（氧化铝）片被击穿问题描述为以下：

由于在接通电源后，在阳极（铝片）与阴极（石墨/Pt）之间产生电流，电流会使阳极（铝片）温度升高，需要冷却液进行冷却，并需要磁力搅拌器带动磁子转动，使电解液能够形成对流，起到降温的作用。通电的同时阳极会产生氧气，阴极附近会产生大量的氢气，由于磁子的搅拌，阴极附近的气泡会被打散并吸附在玻璃容器表面以及铝（氧化铝）片抛光过的一面，阻碍热量的消散，导致局部热量过高最终导致铝（氧化铝）被击穿。

#### 4 利用技术矛盾与阿奇舒勒矛盾矩阵解决 AAO 制备问题

技术矛盾是这样一种情况：在试图改善一个工程系统的参数时导致另一个参数的恶化。阿奇舒勒矛盾矩阵是一个解决问题的工具，可以对解决工程矛盾所需的发明原理提供建议。

利用技术矛盾与阿奇舒勒解决技术矛盾的步骤为：

- (1) 描述成技术矛盾问题；
- (2) 找到实际问题中改善的参数和恶化的参数；
- (3) 对应 39 个通用工程参数，找到通用的改善参数和恶化参数；
- (4) 查找阿奇舒勒矛盾矩阵，找到推荐的发明原理；
- (5) 根据推荐的发明原理进行思考，探讨解决方案。

技术矛盾可以用以下句型来描述：

IF: A (A 为试图解决此问题拟采用的解决的方案)；

THEN: B (B 为改善的参数)；

BUT: C (C 为恶化的参数)。

那么上述制备 AAO 过程中的问题可以描述为如表 1 所示：

**表 1 制备 AAO 过程中遇到的技术矛盾**

Table 1 The engineering contradictions in the process of AAO preparation

IF	磁力搅拌器速度快	IF	磁力搅拌其速度慢
THEN	对流快，降温效果好	THEN	附着气泡少
BUT	附着气泡多	BUT	对流慢，降温效果差

在制备 AAO 过程中遇到的技术矛盾中，需要改善的实际参数是温度，而恶化的实际参数是气泡。对应 39 个通用工程参数中找到需要改善的通用参数为温度，恶化的通用参数为结构的稳定性或可靠性。查找阿奇舒勒矛盾矩阵（局部），如表 2 所示。

**表 2 阿奇舒勒矛盾矩阵（局部）**

Table 2 The Altshuler's matrix (part)

恶化的参数	...	结构的稳定性	...	可靠性	...
改善的参数	...	...	...	...	...
温度	...	1,32,35	...	3,10,19,35	...
...	...	...	...	...	...

通过阿奇舒勒矛盾矩阵确定的发明原理分别为：

- (1) 1 分割，32 改变颜色，35 物理/化学状态变化；

(2) 3 局部质量, 10 预先作用, 19 周期性作用, 35 物理/化学状态变化。

注: 实际问题中遇到的需要改善和恶化的参数与 39 个通用工程参数并不是完全对应的, 因此利用阿奇舒勒矛盾矩阵找到的发明原理也是不固定的, 这里只是给出了最接近的通用工程参数作为描述改善和恶化的参数。而且每一个发明原理并不一定能找到解决问题的最终方案。

分割: 把一个物体分成相互独立的部分; 将物体分解成容易拆卸和组装的部分。

解决方案: 利用分割原理, 可以在铝(氧化铝)片前方加一层网, 将整个承载电解液的空间分隔成两部分, 目的在于只让电解液通过而不让气泡通过, 从而解决了阴极产生的气泡会附着在铝(氧化铝)表面而影响散热的问题。

周期性作用: 周期性动作或脉冲代替连续性动作; 已是周期性的动作, 改变其运动频率; 在脉冲周期中利用暂停来执行另一个有用动作。

解决方案: 利用周期性作用, 可以周期性的开关电源来控制电流的产生, 让铝片上还没有聚集足以击穿他自身的热量前就关掉电源, 让其降温, 等温度减小后再开通电源, 继续进行第一次氧化。

物理或化学参数变化: 改变物体的物理状态; 改变物体的浓度或粘度; 改变物体的柔性; 改变物体的温度或体积等参数。

解决方案一: 改变冷却液的温度。将原先的-2℃变为-4℃, 已达到更好的降温效果。

解决方案二: 改变铝(氧化铝)片的厚度。选用更厚的铝片进行氧化, 从而减小被击穿的可能性。

### 5 利用标准解解决 AAO 制备问题

标准解是解决工程问题的 76 个通用模型集合, 这些工程问题都是由物质场结构来进行定义的<sup>[8-10]</sup>。物场(Substance-Field, Su-Field)表示工程系统由物质(车轮、瓶盖、镜片等)和场(机械场、声场、电磁场、重力场、化学场、热场)的相互作用形成<sup>[9,10]</sup>。一个有效的工程系统有益功能必须至少有两个物质和一个场组成, 场建立了物质之间的相互作用。利用标准解解决问题步骤可由图 4 表示。

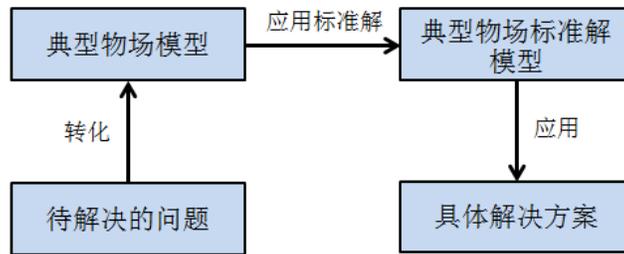


图4标准解解决问题步骤图

Fig.4 The steps to resolve problem by standard inventive solutions

在物场模型中, 物质和场可以用圆圈来表示, 其间的相互作用以线条来表示<sup>[11]</sup>, 表 3 为物场模型示意图中连接线的意义。

表 3 物场模型图像化符号

Table 3 The symbol of substance-field model

作用类型	表达
有用的相互作用	—————
有用但不充分的相互作用	.....
有害的相互作用	~~~~~

对于 76 个标准解根据其能解决问题的种类可分为五类和众多子级。

- 第一类：建立或拆解的物场模型；
- 第二类：增强物场模型；
- 第三类：转换到超系统或微观级别；
- 第四类：检测和测量的标准解；
- 第五类：标准解的应用。

在制备 AAO 过程中，利用第一类：建立或拆解的物场模型中的子级 2 拆解物场模型来解决气泡会附着在铝（氧化铝）片上的问题，其物场模型示意图可表示为图 5。

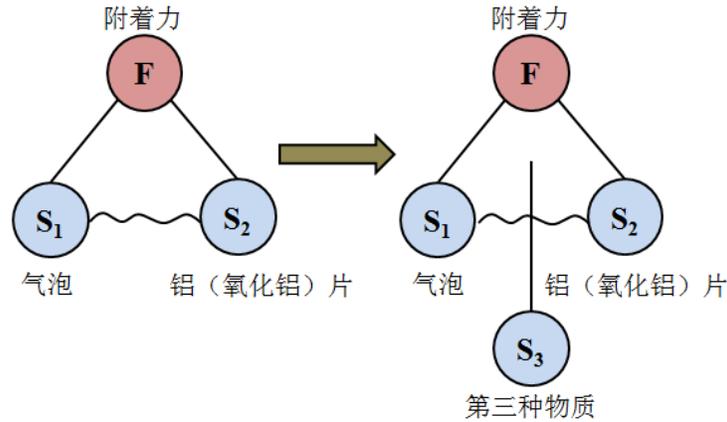


图 5 拆解物-场模型示意图

Fig.5 Destruction of Substance-field model

其中， $S_3$  可以选择上文中提到的不导电的塑料网，也可以在铝（氧化铝）片之前增添一个具有吸附性的材料作为引导，将气泡引导出去，如图 6 所示。

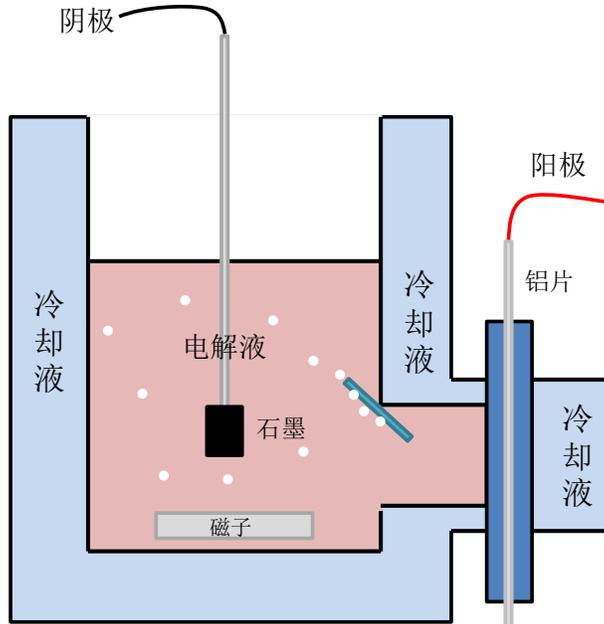


图 6 引入具有吸附性物质  $S_3$  后的 AAO 制备装置

Fig.6 The experimental device with  $S_3$  which has adsorption property

对于该问题，还可以利用第一类标准解中的引入一种场来抵消这种有害的作用，即引入新的场来解决气泡吸附在铝片上的问题。

在原物场模型中, 引入新的场(浮力场), 让气泡在浮力的作用下, 沿着与铝(氧化铝)片相反的方向移动, 从而避免了气泡吸附在铝(氧化铝)片上的问题。具体实施方案可以将整个实验装置微微倾斜。

在倾斜过后, 气泡不附着在铝片上, 但对于磁子运动不稳定等次级问题, 此处不做讨论。

## 6 结论

将 TRIZ 理论应用于解决制备 AAO 的过程中铝(氧化铝)片被击穿问题, 利用功能分析、技术矛盾、阿奇舒勒矛盾矩阵以及标准解等工具得到多种解决方案。经评估, 实际实验过程中采取改变冷却液的温度, 将原先的-2℃变为-4℃, 且将整个装置微微倾斜, 使气泡受到浮力(场)的作用而远离铝(氧化铝)片。对于产生的次级问题磁子运动不稳定, 只需将磁子的搅拌速度调慢就可以解决。

## 参考文献:

- [1] 赵敏, 史晓凌, 段海波. TRIZ 入门及实践. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 新军. 技术创新理论 (TRIZ) 及应用[M]. 化学工业出版社工业装备与信息工程出版中心, 2004.
- [3] 檀润华, 王庆禹, 苑彩云, 等. 发明问题解决理论: TRIZ[J]. 机械设计, 2001, 7: 7-12.
- [4] Kyotani T, Tsai L, Tomita A. Preparation of ultrafine carbon tubes in nanochannels of an anodic aluminum oxide film[J]. Chemistry of Materials, 1996, 8(8): 2109-2113.
- [5] Kyotani T, Tsai L, Tomita A. Formation of ultrafine carbon tubes by using an anodic aluminum oxide film as a template[J]. Chemistry of materials, 1995, 7(8): 1427-1428.
- [6] Wang X, Han G R. Fabrication and characterization of anodic aluminum oxide template[J]. Microelectronic Engineering, 2003, 66(1): 166-170.
- [7] Gao H, Mu C, Wang F, et al. Field emission of large-area and graphitized carbon nanotube array on anodic aluminum oxide template[J]. Journal of Applied Physics, 2003, 93(9): 5602-5605.
- [8] Savransky S D. Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving[M]. CRC Press, 2000.
- [9] Al'tshuller G S, Shulyak L, Rodman S. The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity[M]. Technical Innovation Center, Inc., 1999.
- [10] Rantanen K, Domb E. Simplified TRIZ: New problem solving applications for engineers and manufacturing professionals[M]. CRC press, 2010.

收稿日期: 2013-08-21

基金项目: 国家自然科学基金(61575117)、中央高校基本科研业务费专项资助创新团队项目(GK201601008)、研究生培养创新项目基金资助(硕士重点)项目(2016CSZ013)

## 作者简介:

王天堃(1991-), 男, 甘肃省兰州市人, 在读硕士研究生。研究方向: 微纳光子学, 表面等离激元学等方面的研究。

张中月(1975-), 男, 山东省莘县人, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 微纳光子学, 表面等离激元学方面的研究。E-mail: [zyzhang@snnu.edu.cn](mailto:zyzhang@snnu.edu.cn)