

# 光刻技术在整体式层板催化剂床 研究中的应用

宁建华, 雷娟萍

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 采用自主设计研制的高精度双面自对准光刻模具和标准 MEMS 光刻工艺技术研制出整体式层板催化剂床板片, 简要介绍了光刻工艺原理、工艺流程和工艺过程。光刻加工出的板片满足设计要求, 板片经过电镀和真空扩散焊接工艺形成了整体式催化剂床, 该床成功地通过了热点火试车。催化剂床床载为  $16.5\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , 分解效率为 97%, 室压粗糙度小于 2%。

**关键词:** 光刻; 整体式催化剂床; 过氧化氢催化分解

中图分类号: V463

文献标识码: A

文章编号: (2006) 06-0043-05

## Application of photoetching in the integral catalyst bed

Ning Jianhua, Lei Juanping

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** This paper introduced principle, flow, process of catalytic platelets of photoetching in the integral catalyst bed with high precision mould of dual-face self-aligner and standard MEMS photoetching technology. The catalytic platelets with photoetching satisfied the design requirement. The platelets became an integral catalyst bed through electroplating and vacuum diffusing welding technology. The catalyst bed load is  $16.5\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ , the decomposition rate is 97%, and the roughness of the chamber is less than 2%. The Integral catalyst bed has passed hot test successfully. The results show that the technique of photoetching for manufacturing catalytic platelets is viable and reliable.

**Key words:** photoetching; integral catalyst bed;  $\text{H}_2\text{O}_2$  catalytic decomposition

收稿日期: 2006-04-06; 修回日期: 2006-09-10。

作者简介: 宁建华(1964—), 男, 研究员, 研究领域为层板光刻、微机械技术。

万方数据

## 1 引言

二十世纪初,随着量子力学、电动力学、晶格动力学、固体物理、半导体物理等近代物理和现代物理在理论上的突破和发展,导致了半导体器件和半导体集成电路的出现,该领域的理论和技术发展很快,从 1964 年美国贝尔实验室采用光刻技术研制出世界上第一只半导体晶体管到目前美国 Intel 公司生产的集成度为几千万只甚至上亿只晶体管的计算机芯片,微电子和光刻技术已经走过了半个多世纪的历程,其工艺和技术已经发展到了标准化、模块化、机械化和自动化的程度。进入二十一世纪,由于半导体芯片生产出现了全球垄断和饱和的趋势,有些厂家和研究机构就采用光刻技术来研究和开发 MEMS 技术及其产品,使得光刻技术又有了新的发展和创新。我所采用光刻技术研究过氧化氢层板式催化剂床催化层板加工方法和技术就是在此方面所作出的尝试。

在国外,2003 年美国 Aerojet 公司率先采用层板光刻技术研制成功了整体式层板催化剂床,开辟了小型化、高床载过氧化氢催化剂床的研究工作,为过氧化氢单组元发动机的小型化创造了条件。

## 2 整体式层板催化剂床的结构与特点

整体式层板式催化剂床是一种新型的催化剂床,它采用 MEMS 光刻的方法在每层金属薄板上刻蚀出流道,然后在板片上镀催化剂,最后把板片叠放在一起并用扩散焊接连接成单块整体式结构。图 1 为层板催化剂床的一种流道结构简图。层板催化剂床每两层为一个结构单元。第一层板片正面为等距离的通孔,板片背面也刻蚀出一定深度的盲孔,盲孔与通孔位置相对错开,但有一定的相交面积,第二层板片的结构与第一层板片类似,但盲孔与通孔的分布不同,第二层板片通孔的位置恰好是第一层板片盲孔的位置,其盲孔

的位置是第一层板片通孔的位置。推进剂在催化剂床内部流动时,首先从入口板的一个通孔流向与之相交的三个盲孔,通过盲孔流向其它的通孔和盲孔,整个通道都是相同的,形成了横向流动和纵向流动,由此增加了过氧化氢与催化剂的接触面积并延长了过氧化氢在催化剂床内的停留时间,提高了过氧化氢的催化分解效率,从而大幅度提高了床载荷(即催化剂床单位面积通过的推进剂流量)、缩小了结构尺寸并减轻了催化剂床的重量。由于推进剂流道和板片上的型孔可不受加工工艺束缚而自由设计,而且在催化剂床工作时,型孔不会变形,所以与传统的催化剂床相比,整体式层板催化剂床具有床载高、结构整体化、床参数稳定、起动时间短等较为明显的优点。采用 MEMS 光刻技术成功地研制出了整体式层板催化剂床。

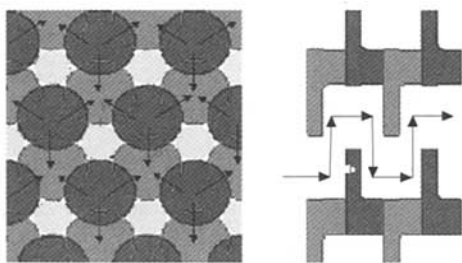


图 1 层板式催化剂床的一种流道图

Fig.1 One of the flow paths of platelet catalyst bed

## 3 层板光刻工艺原理

整体式层板催化剂床主要由催化层板光刻、电镀以及真空扩散焊接工艺制造完成。其中层板光刻工艺难度较大,难点在于催化层板必须实行双面同时光刻,而双面图形又不一致;同一板片上不但要刻蚀出通孔,而且还要刻蚀出盲孔。为了解决该难题,我们设计出了两面图形不一致、但可实现自动对准的双面光刻模具。双面自对准精度较高。其双面自对准光刻工艺原理如图 2 所示。

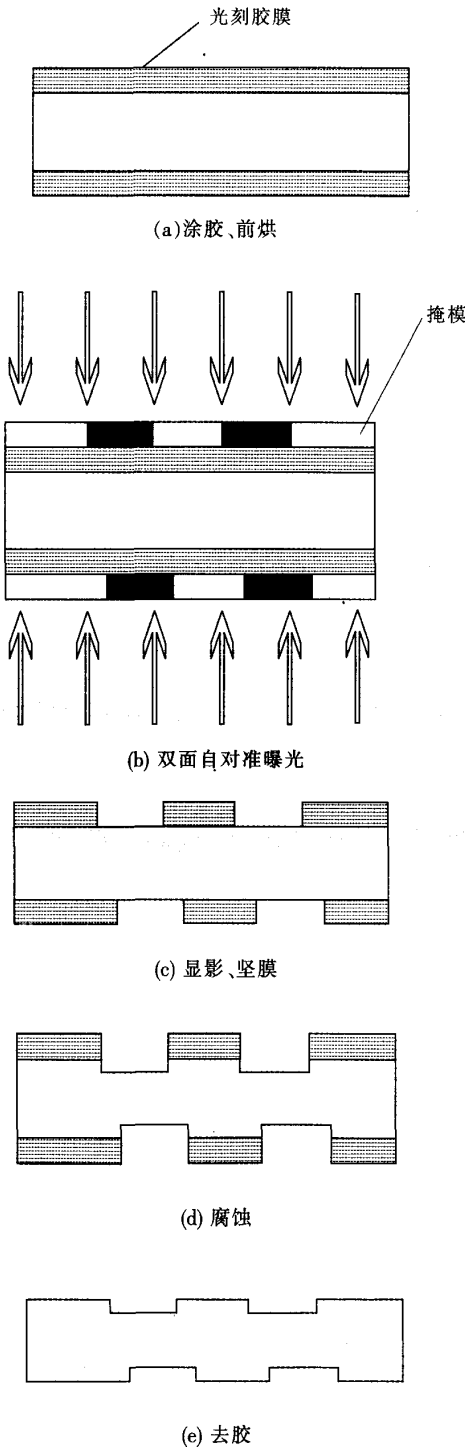


图 2 双面自对准光刻工艺原理简图  
Fig.2 Sketch of principle of dual-face self-aligner photoetching

由图 2 可见, 双面自对准光刻实际上是一种将图形复印和腐蚀相结合的综合性精密加工技术。它先用照像复印的方法, 将光刻掩模上的图形精确地复印到涂在待刻蚀材料表面的光刻胶上面, 然后在光刻胶的保护下对待刻蚀的材料进行选择性的刻蚀, 从而在待刻蚀材料上得到所需要的几何型孔。在层板式催化剂床板片的光刻过程中, 就是按照设计要求, 在高温合金片上刻蚀出与掩膜完全对应的几何图形, 以供电镀和真空扩散焊接工序, 最终加工出层板式催化剂床。

#### 4 双面自对准光刻模具设计与研制

层板式催化剂床催化层板板片由三种型孔和结构不同的板片组成, 其中有全通孔板片、带有盲孔的两种不同结构的板片。带有盲孔的板片图形彼此之间发生了相交, 由此给双面自对准光刻造成了很大困难。为此专门设计了自对准工装夹具, 解决了该难题。

催化层板光刻模具数据处理量很大, 由于目前正在使用的光学图形发生器已经老化, 不能长时间工作, 否则就死机, 再次开机时, 又从头开始曝光, 如此循环下去, 一直无法完成乳胶板生产。针对该难题, 我们将数据处理量较大的板片上的圆形孔改为数据处理量较小的六边形孔, 经过计算机计算和处理, 发现数据收敛。将该数据转存在 PG 带上, 并由此指挥光学图形发生器就制作出了乳胶板, 然后复制出铬板, 最后形成双面自对准光刻模具。

采用该模具进行光刻工艺试验后, 又发现承担真空扩散焊接支撑单元的六角星凸台面积太小, 不足以达到设计要求的焊接强度。我们再次经过计算, 重新确定了光刻模具设计余量, 通过上述模具制作程序, 再次完成了改版后的双面自对准光刻模具。采用新模具光刻生产出了满足设计要求的催化层板板片。在模具设计和研制的过程中, 我们采用了合适的数学模型、离散算法和逻辑运算使得模具设计加工精度高, 而且数据量可控、收敛, 成功地完成了催化层板光刻模具数据处理、乳胶板制作、铬板母板制作、双面自对

准模具生产等，而且双面自对准光刻模具自对准精度高，满足了光刻工艺和设计要求。

催化层板光刻主要技术要求见表 1。

表 1 催化层板光刻主要技术要求

Tab.1 Main technical requirements of catalytic platelets for phototeching

催化层板材料	高温合金
板片外形尺寸	60×50(mm)

5 光刻工艺及其流程

光刻工艺属于标准 MEMS 工艺技术，它是将精密化学照相、图形复印与选择性蚀刻技术相结合的一门精密加工技术。催化层板光刻工艺流程如图 3 所示。

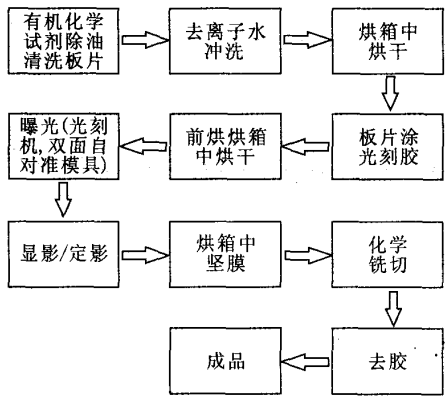


图 3 催化层板光刻工艺流程图

Fig.3 Photoetching process of catalytic platelets

5.1 模板制作

根据整体式催化剂床板片设计图纸，并结合光刻工艺特点以及催化层板光刻技术要求，设计模板图纸并提出相应的技术要求。按照模板图纸要求和光刻加工精度进行编程、计算、数据处理、图形粉碎，该过程需反复进行，并不断检查计算结果和模板精度，直至满足模板图纸技术要求，方可形成 PG 数据带。在光学图形发生器上，

计算机按照 PG 带数据制作乳胶板。在复制机上，将乳胶板翻成铬板，铬板即为光刻催化层板的母板。

5.2 催化层板清洗

根据相似相溶原理，制定了催化层板板片化学清洗方案。即首先采用甲苯→丙酮→无水乙醇有机化学试剂清除板片上的油污；然后用去离子水冲洗；其次酸洗；最后再用去离子水冲洗，烘干待用。

5.3 涂胶

将板片浸入光刻胶中，让板片两表面均涂上光刻胶，静置控胶，然后将其悬置于前烘烘箱中烘干。

5.4 光刻

将前烘好的板片安装于双面自对准光刻模具中，在光刻机上进行曝光。曝光后的板片依次浸入显影液→定影液→漂洗液中进行显影、定影和漂洗，然后将板片置于烘箱中坚膜。

5.5 化学铣切

根据板片材料、光刻胶的耐蚀性、化铣时间长短、温度以及化铣控制操作难易程度等制定化学铣切配方。将坚膜好的板片，浸入化洗液中，按照试验好的温度、时间等工艺参数控制化铣过程，进行化学铣切。

5.6 去胶

去胶液配方是根据能将光刻胶不留痕迹地去除，又不损伤板片表面的原则制定的。将化铣好的板片浸入去胶液中进行去胶，去除板片表面的光刻胶，板片表面不允许任何损伤。

6 光刻结果

光刻、腐蚀加工的材料为高温合金带材。层板式催化剂床催化层板板片光刻加工后的表面质量完全合格，其图形尺寸精度亦达到了设计要求。光刻出的板片实物照片如图 4 所示。

光刻板片经镀银和扩散焊接，便组成了整体式催化剂床组件，该组件即可提供热试车。

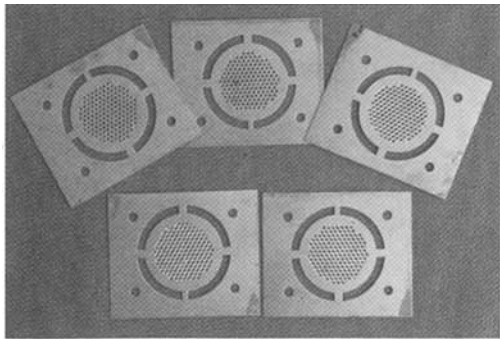


图 4 催化层板照片  
Fig.4 Photograph of catalytic platelets



图 5 层板催化剂床热试车  
Fig.5 The hot-firing of platelet catalyst bed

7 热试结果

采用 MEMS 光刻技术、电镀以及真空扩散焊

接技术研制出的整体式层板催化剂床顺利地通过了热点火试车，通过分析热试车数据，我们认为：整体式层板催化剂床达到了预期的设计要求。试验结果的部分数据为：催化剂床床载  $16.5\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ ，在此床载下，分解效率为 97%，室压粗糙度小于 2%。图 5 是层板催化剂床热试车台照片。

8 结论

采用自主设计研制的高精度双面自对准光刻模具和标准 MEMS 光刻工艺技术研制出了满足设计要求的整体式催化剂床催化层板板片，该板片经过电镀和真空扩散焊接工艺形成了整体式催化剂床，该床成功地通过了热点火试车，层板光刻工艺得到了验证和考核，由此证明：采用层板光刻技术研制催化层板是可行和可靠的。

参考文献：

[1] 宁建华. 光刻技术在流体动力密封研究中的应用[J]. 火箭推进, 2005,(4).  
[2] 雷娟萍. 过氧化氢催化剂及其催化剂床技术综述 [J]. 火箭推进, 2005,(6).  
[3] 雷娟萍. 过氧化氢层板催化剂床特性研究[D]. 中国航天科技集团公司六院十一所. 2006,(3).  
[4] 宁建华. 光刻技术在液体火箭发动机中的应用[J]. 火箭推进, 1992,(4).

(编辑：侯 早)