

文章编号: 1001-3806(2007)05-0476-03

## 表面活化处理在激光局部键合中的应用

聂 磊<sup>1,2</sup>, 史铁林<sup>1,2\*</sup>, 汤自荣<sup>2</sup>, 李晓平<sup>1,2</sup>, 马子文<sup>1</sup>

(1. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074; 2. 华中科技大学 武汉国家光电实验室, 武汉 430074)

**摘要:** 为了研究低热应力键合工艺, 提出了一种将表面活化直接键合与激光局部键合相结合的键合技术。首先采用 RCA 溶液对键合片进行表面亲水活化处理, 并在室温下成功地完成了预键合。然后在不使用任何夹具施加外力辅助的情况下, 利用波长 1064nm、光斑直径 500 $\mu$ m、功率 70W 的 Nd:YAG 连续式激光器, 实现了激光局部键合, 并取得了 6 MPa~6.8 MPa 的键合强度。结果表明, 这种以表面活化预键合代替加压的激光局部键合技术克服了传统激光键合存在的激光对焦困难, 以及压力不均匀易损害键合片和玻璃盖板等缺点, 同时缩短了表面活化直接键合的退火时间, 提高了键合效率。

**关键词:** 激光技术; 局部键合; 表面活化; 键合强度

**中图分类号:** TN249 **文献标识码:** A

### Application of surface activation in local laser bonding

NIE Lei<sup>1,2</sup>, SHI Tie-lin<sup>1,2</sup>, TANG Zi-rong<sup>2</sup>, LI Xiao-ping<sup>1,2</sup>, MA Zi-wen<sup>1</sup>

(1. School of Mechanic Science and Engineering Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Wuhan 430074, China)

**Abstract** A new bonding technique to alleviate the high temperature adverse effect in silicon-glass bonding process was presented which combines the advantages of surface activated direct bonding and local laser bonding techniques. RCA solution was used to make the bonding surfaces hydrophilic and the silicon-glass prebonding was accomplished at room temperature. The laser with a wavelength of 1064nm was used and its spot diameter was 500 $\mu$ m and the power was 70W. Without any external pressure, the prebonded pairs were bonded locally and the bonding strength reaches 6 MPa~6.8 MPa. The experimental results of show that this bonding technique which employs surface activated prebonding to substitute pressure to maintain the intimate contact of bonding chips, has overcome the disadvantages that focusing is difficult and bonding chips and glass cover are easy to broken in normal local laser bonding processing. This technique also improves the efficiency of surface activated direct bonding by shortening the annealing time.

**Key words** laser technique; local bonding; surface activation; bonding strength

## 引 言

键合是一种广泛应用于微机电系统 (micro electromechanical systems MEMS) 和 IC 器件生产的工艺。利用键合技术可以使各种经过抛光的半导体片形成一个整体, 从而使以硅为核心的各种材料的集成成为现实, 进而使系统、电路、器件与材料的一体化优化设计成为可能, 使硅的超大规模集成电路 (very large scale integration VLSI) 的潜力得以充分发挥, 极大地促进了半导体技术的发展<sup>[1]</sup>。但是, 目前使用的键合工艺普

遍采用高温整体热键合, 使键合芯片得到足够的键合能 (如硅-硅阳极键合: 300°C ~ 450°C, 硅-硅直接键合: 大于 800°C, 熔融键合则需大于 1000°C, 金硅共晶键合: 363°C)<sup>[2]</sup>。在如此高的键合温度下, 很多器件的可靠性无法保证。而激光焊接具有大熔深、窄焊道、小热影响区, 以及高功率密度的特征<sup>[3]</sup>, 将其应用到键合中, 就可以在实现局部高温键合的前提下保证芯片其它部分的温升不会太高<sup>[4]</sup>, 而且激光作用后降温也非常迅速<sup>[5]</sup>, 因此, 激光键合目前得到了广泛的关注。

影响激光局部键合质量的一个重要因素是两键合片接触的紧密程度。从理论上来说, 键合片接触越紧密, 激光在键合界面处就能聚集更多能量完成键合。目前大部分激光局部键合的研究工作都是以加压的方式使两键合片紧密贴合<sup>[6]</sup>, 需要使用特别设计的夹具, 实际效果也不理想。因此, 作者提出了以表面活化处理的方法对两键合片进行预键合处理, 使两键合片

基金项目: 国家重大基础研究资助项目 (2003CB716207); 国家自然科学基金资助项目 (50405033)

作者简介: 聂 磊 (1978), 男, 博士研究生, 现主要从事圆片键合工艺研究。

\* 通讯联系人。 Email: tkh@hust.edu.cn

收稿日期: 2006-07-25; 收到修改稿日期: 2006-08-31

能在不外加压力的情况下实现激光局部键合。

## 1 原理分析

激光局部键合的原理基于激光透射焊接技术,主要适用于两种激光透射率不同的材料进行键合,其中一种材料能使激光透过,而另一种材料能吸收激光的能量。当两种材料的芯片堆叠起来,使合适波长的激光透射上层芯片到达键合界面时,大部分的能量将被下层芯片材料吸收而迅速升温产生键合。典型的激光键合材料是硅和玻璃,当使用波长 1064nm 的 Nd:YAG 激光器时,Pyrex 玻璃可以透过绝大部分的激光,而硅片能够吸收足以发生键合的能量。

目前,广泛使用的激光局部键合装置如图 1 所

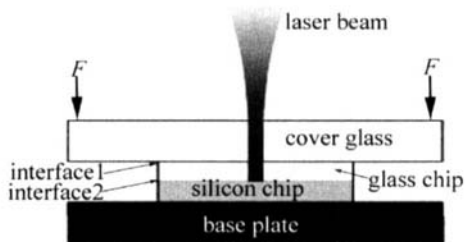


Fig 1 Schematic drawing of the pressure aided

示<sup>[7]</sup>。为了保证两键合片能紧密接触,一般在键合玻璃片上再使用一块比较厚的玻璃片,通过在厚玻璃片的边缘加压,可以使压力传递到键合玻璃上,同时厚玻璃片中间可以使激光透射。这种装置的设计意图是通过加压的方式尽量减小两键合片间的空隙。但是实现起来有一定的困难。(1)传递压力的玻璃片与键合玻璃片之间有空隙,存在接触界面,因此激光到达键合界面前要经过两个界面:界面 1 和界面 2。与玻璃盖板相比键合玻璃片比较薄,界面 1 和界面 2 距离比较近,故控制激光准确地在键合界面上聚焦比较困难。(2)玻璃盖板的施压点在边缘,因此很难保证处于中心位置的键合玻璃片能均匀受压。这样会造成应力分布不均,而激光局部键合时温度梯度又比较大,故玻璃键合片在激光照射时很容易破裂。(3)试验中为了保证两键合片紧密接触,一般施加的压力在 10MPa~30MPa 之间<sup>[7]</sup>,对于 1cm×1cm 的键合片,就是 100kg~300kg 的压力。如此大的压力,玻璃盖板太薄将无法承受;但是太厚会造成激光在玻璃中被吸收太多,盖板升温,温度梯度增加,而玻璃属于脆性材料,在较大压力存在的情况下,很容易被破坏。因此玻璃盖板的厚度很难选择。

由此可见,使用加压方法进行激光键合设备比较复杂,实现也有一定的困难。

而表面活化键合是一种有效的直接键合方法,广

泛用于硅-硅、硅-玻璃、玻璃-玻璃<sup>[8]</sup>等材料的直接键合<sup>[9]</sup>。采用亲水化表面活化处理的方法可以使单晶硅圆片和 Pyrex 玻璃圆片在无外界压力的情况下直接键合<sup>[10]</sup>,但是要达到比较高的键合强度需要在 450℃ 下退火 5h。如果采用激光键合来代替高温退火的工艺过程,那么就可以在相对较短的时间内完成键合。因此,把表面活化预键合和激光局部键合结合起来是实现低温键合的一个可行方案。

## 2 试验过程

### 2.1 亲水化预键合

试验使用的单晶硅圆片掺杂类型为 P 型,晶向 (111),厚 380μm,半径 38mm;Pyrex 玻璃圆片厚 525μm,切割成 20mm×20mm 的方片以供键合。

所使用的硅片和玻璃片均进行了亲水化处理。具体的流程是:(1)配置  $H_2SO_4$  和  $H_2O_2$  的混合溶液 ( $V(H_2SO_4):V(H_2O_2) = 2:1$ ),将待键合的样片浸泡到混合溶液中,控制反应温度在 120℃,清洗时间 20min,混合溶液的作用是去除金属颗粒和有机物污染;(2)配置 RCA<sub>1</sub> 溶液 ( $V(NH_4OH):V(H_2O_2):V(H_2O) = 1:1:5$ ),浸泡样片 20min,反应温度 70℃;(3)配置 RCA<sub>2</sub> 溶液 ( $V(HCl):V(H_2O_2):V(H_2O) = 1:1:5$ ),浸泡 20min,反应温度 70℃;(4)使用高纯氮气将样片吹干。每一步处理以后,都要用去离子水将样片冲洗干净。

经过了以上的表面活化过程,样片表面将悬挂大量的  $OH^-$ ,表现出了强烈的亲水性质。此时将硅片和玻璃片在室温下迅速贴合在一起,硅片和玻璃即发生了自发性键合,如图 2 所示。虽然边缘有部分区域没

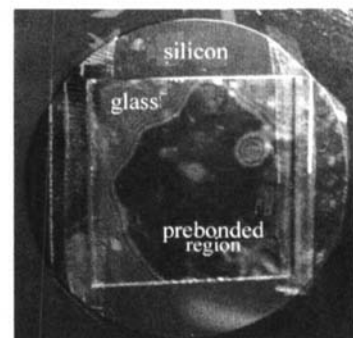


Fig 2 Prebonded silicon/glass chips

有键合上(推测是未清洗干净的原因),但是整体的键合面积已经达到了激光键合的要求。不过此时键合强度非常弱,很小的力就可以将两键合片分开,因此,使用了透明胶带将玻璃片固定防止意外破坏预键合。

### 2.2 激光局部键合

将预键合好的一对样片放置到激光器的平移台上,不再使用任何夹具对其施压。使用德国 Rofin-Si

nar公司生产的 Nd:YAG 激光器, 波长 1064nm, 光斑直径 500 $\mu\text{m}$ , 连续式激光发射方式, 功率 70W, 光束扫描速度 5mm/s 扫描长度 10mm。

### 3 结果与讨论

激光键合后的样片如图 3所示。激光束划过的线条清晰可见, 表明此区域已经成功键合, 而其周围的预

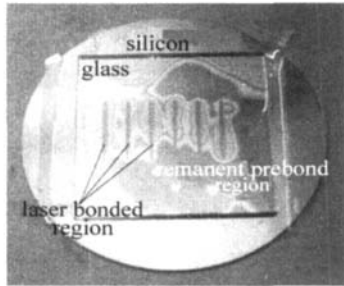


Fig 3 Laser bonded chips

键合区域仍然有一部分残存。通过激光键合线条的显微照片(见图 4)可以明显看到激光束键合的整个过

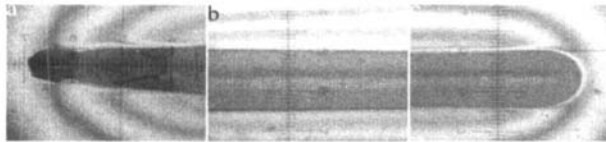


Fig 4 Microscope photograph of laser scan trace

a—the end sect of laser scan b—the middle sect c—the start sect

程。图 4c是激光键合的初始阶段, 因为此时键合界面吸收的激光功率还比较少, 温度还未上升到稳定键合的程度。由于激光束的能量分布满足高斯分布, 光斑中心点的能量密度比较高, 因此在光斑的中心位置升温较快, 故而光斑的中心点首先发生了键合。随着激光照射时间的增加, 键合界面吸收的激光能量也越来越多, 因此键合的区域开始向垂直于光束扫描方向的两端扩大, 即键合线条的宽度越来越大, 同时键合界面吸收的能量也就越来越多。当键合线条宽度扩大到一定的尺度时, 键合界面吸收的能量与激光提供给键合界面的能量相等, 此时键合达到了一种准静态的能量平衡, 因此键合线条宽度也就不再增加而维持在一个固定的尺寸(见图 4b)。图 4中标尺每刻度是 50 $\mu\text{m}$ , 从图 4b中可见键合线条的宽度大约是 750 $\mu\text{m}$ 。当然这个准静态平衡的建立和激光功率, 键合界面散热效率等因素都有关系。若激光功率太大, 使注入键合区域的能量超过了键合吸收和散发的能量总和, 那么键合界面材料将无法承受而导致键合片破裂损坏。

在激光扫描的结束端可以很明显地看到半圆型的键合区域, 清楚地表明了圆型激光光斑形成的键合区域。

随后样片根据键合线条划成了若干小片, 每片上有一根键合线条。利用 CHEN 使用的微样件测试

机<sup>[11]</sup>对样片进行了拉伸测试。经过拉伸测试后失效的样片如图 5所示, 样片从玻璃体内断裂, 而不是在界面断裂, 测试结果表明, 激光局部键合的强度达到了 6 MPa~ 68 MPa。



Fig 5 The fractured glass surface after pull test

### 4 结 论

常规加压方法实现的激光局部键合存在着设计结构相对复杂, 容易损伤键合片, 上层玻璃盖板容易破碎等问题。而将表面活化预键合应用在激光局部键合中, 无需任何附加夹具即使两键合片紧密接触。经过键合试验, 使用波长 1064nm, 光斑直径 500 $\mu\text{m}$ , 功率 70W 的 Nd:YAG 激光器实现了激光局部键合, 并取得了较好的键合强度。

### 参 考 文 献

- [1] LIU J Sh, YAN P, GONG M L *et al*. Thermal bonding and its application in laser system [J]. *Optical Technique* 2002, 28(4): 355~ 359 (in Chinese).
- [2] ZHOU H, LAI J J, DENG Q *et al*. Finite element analysis of temperature field of localized laser heating [J]. *Infrared Technology*, 2003, 25(6): 82~ 83 (in Chinese).
- [3] WANG J Ch. Development and expectation of laser welding technology [J]. *Laser Technology* 2000, 27(5): 486~ 489 (in Chinese).
- [4] MESCH EDER U M, ALAVIM, HILIMANN K *et al*. Local laser bonding for low temperature budget [J]. *Physica* 2002, A97~ 98(1): 422~ 427.
- [5] LIU Ch, LIN L W. The application of nanosecond-pulsed laser welding technology in micro package in with a shadow mask [J]. *Physica* 2002, A97~ 98(1): 398~ 404.
- [6] TAN A W Y, TAY F E H. Localized laser assisted eutectic bonding of quartz and silicon by Nd:YAG pulsed-laser [J]. *Physica* 2005, A120(2): 550~ 561.
- [7] WILD M J, GLINER A, POPRAWA R. Locally selective bonding of silicon and glass with laser [J]. *Physica* 2001, A93(1): 63~ 69.
- [8] ANDO D, OISHI K, NAKAMURA T *et al*. Glass direct bonding technology for hermetic seal package [J]. *IEEE MEMS 97 Proceedings Tenth Annual International Workshop*, 1997, 1(1): 186~ 190.
- [9] QING G. Surface activation enhanced low temperature silicon wafer bonding [D]. Durham: Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Duke University, 2000, 4~ 7.
- [10] XIAO Zh X, WU G Y, LI Zh H *et al*. Silicon/glass wafer bonding with silicon hydrophilic fusion bonding technology [J]. *Physica* 1999, A72(1): 46~ 48.
- [11] CHEN M X, YIX J, GAN Z Y. Reliability of anodically bonded silicon-glass packages [J]. *Physica* 2005, A120(1): 291~ 295.