

激光在 CIS 晶圆级封装钝化环节的新应用

钱柯

合肥海图微电子有限公司 安徽合肥 230041

【摘要】在CIS晶圆级封装的钝化环节，激光对比现有“光刻-刻蚀”方式，在技术门槛、加工周期、制造成本和设备投资额等方面上具有优势。同时，通过激光参数调整的正交实验也验证了其在应用方向上的可行性。

【关键词】CMOS图像传感器；晶圆级封装；钝化环节；激光

New Applications of Laser in Passivation of CIS Wafer-Level Packaging

Qian Ke

Hefei Haitu Microelectronics Co., Ltd. Hefei, Anhui 230041

【Abstract】 Compared with the conventional "photolithography-etching" method, laser technology demonstrates advantages in technical barriers, processing cycle, manufacturing costs, and equipment investment during the passivation stage of CIS wafer-level packaging. Furthermore, orthogonal experiments on laser parameter adjustments have validated its feasibility in practical applications.

【Key words】 CMOS image sensor; wafer-level packaging; passivation process; laser

1 引言

目前，CMOS 图像传感器（CMOS Image Sensor, CIS）普遍采用晶圆级封装，在钝化环节主要利用光刻机套刻和电感耦合等离子体刻蚀（Inductively Couple Plasma, ICP）的“光刻-刻蚀”方式实现。本文介绍激光在技术门槛、加工周期、制造成本和设备投资额的优势和风险，并通过实验论证其应用的可行性，为优化激光在该环节的应用提供研究思路。

2 “光刻-刻蚀”和激光对比

2.1 流程差异

目前 CIS 晶圆级封装钝化环节主要采用如下图 1 所示的“光刻-刻蚀”方式，包含 2 次绝缘光刻胶-涂布、曝光、显影和干法刻蚀去除 oxide 的工序。

激光在这个环节的加工流程如下图 2，原理上利用激光照射 Pad 表面的绝缘光刻胶和氧化硅，使其汽化或离子化，并被抽气装置清除，实现和“光刻-刻蚀”一样的效果。

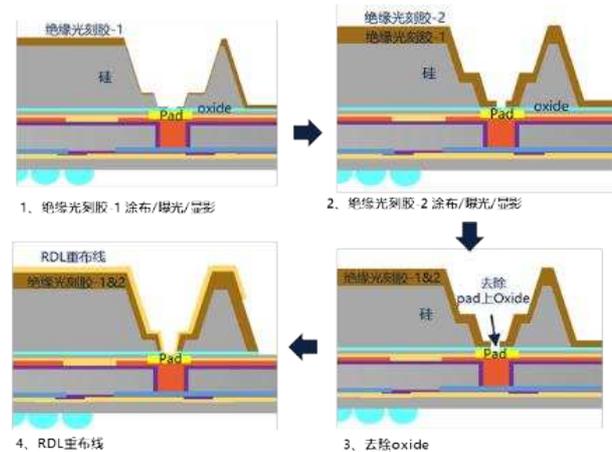


图 1 现有“光刻-刻蚀”钝化流程

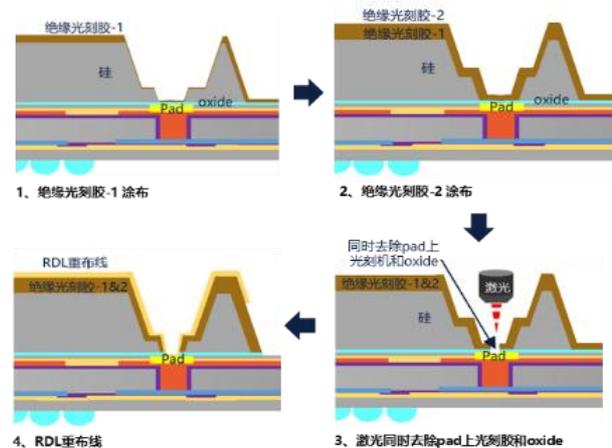


图 2 激光钝化流程

2.2 激光的优势

2.2.1 技术门槛低

光刻和等离子刻蚀技术一般在晶圆制造和先进封装使用,技术门槛非常高。光刻对涂胶厚度均一性、套刻精度等要求极高。等离子体蚀刻工艺由物理损伤、化学轰击或以这两者之结合来实现,有如电子回旋共振(ECR)蚀刻、电感耦合等离子体蚀刻(ICP)等^[1],CIS刻蚀通常采用ICP方式。但掌握该技术很难,要根据蚀刻速度、精度、选择性等需求选择合适功率和反应气体。

激光在CIS晶圆级封装中的研究和应用也有不少,如切割、打标及采用激光直接成像技术进行光刻。虽然在钝化环节应用的研究和实验相对较少,但对比“光刻-刻蚀”技术,技术门槛要低很多。

2.2.2 加工周期短

如下表1,对比现有“光刻-刻蚀”方式,激光工序简单,有加工周期短的优势。

表1 在钝化环节的加工周期对比

加工方式	工序名称	加工方式	Cycle time	加工周期
光刻-刻蚀	绝缘光刻胶1-涂布	涂胶1	1至2小时/批	长
	绝缘光刻胶1-曝光	曝光1	2至6小时/批	长
	绝缘光刻胶1-显影	显影1	1至2小时/批	长
	绝缘光刻胶2-涂布	涂胶2	1至2小时/批	长
	绝缘光刻胶2-曝光	曝光2	2至6小时/批	长
	绝缘光刻胶2-显影	显影2	1至2小时/批	长
	ICP刻蚀	干法刻蚀	1至2小时/批	长
激光	绝缘光刻胶1-涂布	涂胶1	1至2小时/批	长
	绝缘光刻胶2-涂布	涂胶2	1至2小时/批	长
	激光	激光	半小时/批	短

2.2.3 制造成本低

由于激光工序简单,使用的物料更少,因此制造成本更低,具体如下表2。

表2 在钝化环节的物料价格对比

加工方式	工序名称	涉及材料	售价	成本
光刻-刻蚀	绝缘光刻胶1-涂布	绝缘光刻胶	4至5万元/Kg	高
	绝缘光刻胶1-曝光	光罩掩模版	1至2万元/张	高
	绝缘光刻胶1-显影	光刻显影液	1至2万元/Kg	高
	绝缘光刻胶2-涂布	绝缘光刻胶	4至5万元/Kg	高
	绝缘光刻胶2-曝光	光罩掩模版	1至2万元/张	高
	绝缘光刻胶2-显影	光刻显影液	1至2万元/Kg	高
	ICP刻蚀	高纯度特气	1至2万元/L	高
激光	绝缘光刻胶1-涂布	绝缘光刻胶	4至5万元/Kg	高
	绝缘光刻胶2-涂布	绝缘光刻胶	4至5万元/Kg	高
	激光	/	/	几无成本

2.2.4 设备投资额小

由于激光工序简单,加工设备省去了采用“光刻-刻蚀”方式所需的光刻机、显影机、干法刻蚀机等先进封装设备,因此设备投资额更小,具体如下表3。

表3 在钝化环节的设备投资金额对比

加工方式	工序名称	涉及设备	采购价格	投资金额
光刻-刻蚀	绝缘光刻胶1-涂布	涂胶机	¥200万/台	低
	绝缘光刻胶1-曝光	光刻机	¥3000万/台	高
	绝缘光刻胶1-显影	显影机	¥200万/台	低
	绝缘光刻胶2-涂布	涂胶机	¥200万/台	低
	绝缘光刻胶2-曝光	光刻机	¥3000万/台	高
	绝缘光刻胶2-显影	显影机	¥200万/台	低
	ICP刻蚀	干法刻蚀机	¥2000万/台	高
激光	绝缘光刻胶1-涂布	涂胶机	¥200万/台	低
	绝缘光刻胶2-涂布	涂胶机	¥200万/台	低
	激光	激光机	¥500万/台	低

2.3 激光加工的风险

激光与材料相互作用过程中的物理过程十分复杂,依靠单一激光束的减材方法很容易出现一些问题。如:激光打孔时残留物在加工表面凝固形成再铸层,且凝固过程中会产生残余热应力,孔壁材料在此应力作用下会产生微裂纹^[4]。此外,使用激光加工钝化层对晶圆Pad设计制造有特定需求,即Pad下方不能有线路或其他功能设计,功能层不能有Low-K材料,否则激光会引起功能层裂,从而导致产品失效。另外,激光烧蚀绝缘光刻胶和氧化硅,会与他们产生反应,形成含Si、C等元素聚合物残留在Pad金属表面,如果清除不干净,会导致后续RDL结合力差并导致产品失效^[5]。

3 实验

3.1 实验方法

根据单脉冲等离子体阈值理论模型及设计连续飞秒激光烧蚀硅材料实验,增大激光通量和减小脉冲宽度获得理想的初始孔洞结构,可使后续脉冲能量集中孔底中心区域,打孔效果更好^[6]。本次实验使用KLA Emerald 160 Fs激光设备,在punch模式下,通过发射频率和脉冲时间来控制脉冲个数。实验采用正交表,选择能量密度、发射频率、脉冲次数三个因素,每个因素取三个水平,均在同一待钝化晶圆上做三因素三水平实验。评判标准包括:通过扫描电子显微镜(SEM)确认钻孔形貌。另外,针对激光产生的聚合物残留问题,对激光后样品进行药水清洗后,通过能量色散X射线光谱仪(EDX)确认Pad表面无残留。

根据设备硬件条件, 确认实验数据如下表 4 激光打孔因素和水平分布表。

表4 激光打孔因素和水平分布表

因素	能量密度 (J/cm ²)	发射频率 (KHZ)	脉冲次数 (次)
水平1	0.5	100	50
水平2	1	50	30
水平3	1.5	10	10

实验通过调节能量密度、发射频率、脉冲次数, 进行如下表 5 的正交实验:

表5 实验设计正交表

因素	能量密度 (J/cm ²)	发射频率 (KHZ)	脉冲次数 (次)
实验1	0.5	100	50
实验2	0.5	50	30
实验3	0.5	10	10
实验4	1	100	50
实验5	1	50	30
实验6	1	10	10
实验7	1.5	100	50
实验8	1.5	50	30
实验9	1.5	10	10

3.2 实验结果

经过初步验证, 获得如下表 6 的孔内外径尺寸数据。其中实验 5 经过测量, 更接近内外孔径 $30 \pm 5\mu\text{m}$ 的要求。

通过 SEM 确认实验 5 孔形貌, 显示正常, 如下图 3 所示。

至于激光加工带来的 Pad 表面聚合物残留的风险, 实验通过使用 EKC 溶液清洗前后 EDX 分析, 验证了清洗后没有碳化物质, 清洗有效。具体结果如图 4 所示。

参考文献

- [1] 成立, 王振宇, 武小红, 等. 深亚微米/纳米 CMOS 器件离子蚀刻新技术[J]. 半导体技术, 2005, 30 (1): 35-40. DOI: 10.3969/j.issn.1003-353X.2005.01.013.
- [2] 余山, 章定康, 黄敞. 等离子刻蚀二氧化硅[J]. 微电子学与计算机, 1989, (01): 38-40. DOI: 10.19304/j.cnki.issn1000-7180.1989.01.013.
- [3] 李志明, 王玺, 聂劲松. 飞秒激光打孔硅的孔洞形貌研究[J]. 光子学报, 2017, 46 (10): 23-30.
- [4] 胡晓冬, 李元龙, 白少状, 等. 激光在材料去除加工中的应用的研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58 (05): 71-79.
- [5] 马书英, 王皎, 刘轶, 等. 浅析 CMOS 图像传感器晶圆级封装技术[J]. 电子与封装, 2021, 21 (10): 9.
- [6] 李志明, 王玺, 聂劲松. 飞秒激光打孔硅的孔洞形貌研究[J]. 光子学报, 2017, 46 (10): 23-30.

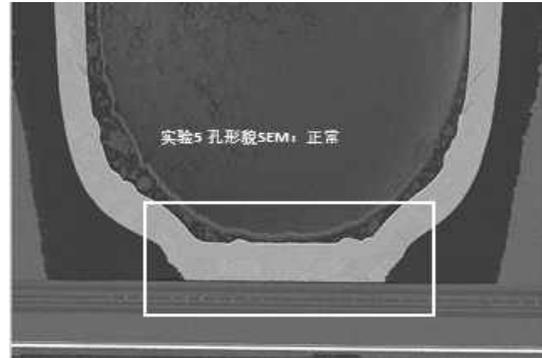


图3 实验5孔形貌SEM图

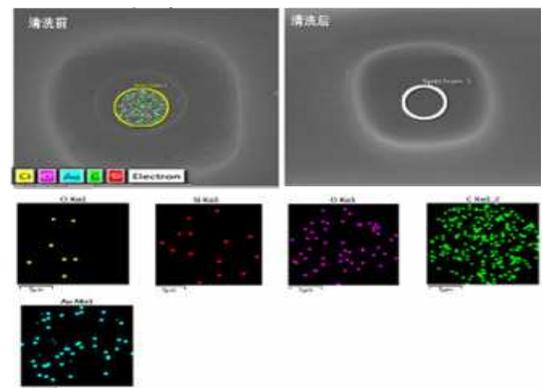


图4 清洗前后EDX

4 总结

通过初步研究, 验证了激光在 CIS 晶圆级封装钝化环节的应用是可行的, 无论在工艺门槛、制造成本及加工周期等方面都比现有技术有优势。本文通过初步实验希望能为激光在这方面的应用提供新的思路。