

文章编号 1004-924X(2024)03-0392-09

## 8 寸 CMP 设备对小尺寸镀铜 InP 晶圆的工艺开发

成明, 赵东旭\*, 王云鹏, 王飞, 范翊, 姜洋

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所发光学及应用国家重点实验室,  
吉林长春 130033)

**摘要:**为了实现在 8 寸化学机械抛光设备上对小尺寸镀铜 InP 晶圆的减薄抛光工作, 提高设备的兼容性, 缩减工艺步骤, 减少过多操作导致 InP 晶圆出现裂纹暗伤和表面颗粒增加等问题, 自制特殊模具, 使小尺寸 InP 晶圆在 8 寸化学机械抛光设备上加工, 再根据 InP 晶圆易碎的缺陷问题, 通过调整设备的抛光头压力、转速和抛光垫的转速等相关工艺参数, 使其满足后续键合工艺的相关需求。实验结果表明: 在使用特殊模具下, 当抛光头的压力调整为 20.684 kPa、抛光头与抛光垫的转速分别为 93 r/min 和 87 r/min 时, InP 晶圆的表面粗糙度达到:  $R_a \leq 1$  nm; 表面铜层的去除速率达到  $3.857 \times 10^{-10}$  /min; 后续与 8 寸晶圆的键合避免键合位置出现空洞等缺陷, 实现 2 寸 InP 晶圆在 8 寸设备上的 CMP 工艺, 大大降低了 CMP 工艺成本, 同时避免晶圆在转移过程中出现表面颗粒度增加和划伤的情况, 实现了 InP 晶圆与 Si 晶圆的异质键合及 Cu 互连工艺。

**关键词:** 化学机械抛光; 磷化铜; 去除速率; 键合; 表面粗糙度

**中图分类号:** TN405 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/OPE.20243203.0392

## Process development of small size copper-plated InP wafer with 8-inch CMP equipment

CHENG Ming, ZHAO Dongxu\*, WANG Yunpeng, WANG Fei, FAN Yi, JIANG Yang

(State Key Laboratory of Luminescence and Applications, Changchun Institute of Optics,  
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

\* Corresponding author, E-mail: zhaodx@ciomp.ac.cn

**Abstract:** To achieve the thinning and polishing of small-size copper-plated InP wafers using 8-inch chemical mechanical polishing (CMP) equipment, it's essential to enhance equipment compatibility, streamline process steps, and mitigate issues like cracks and surface particles on InP wafers due to excessive handling. Initially, employing custom-made molds allows the processing of small-size InP wafers on 8-inch CMP equipment. Subsequently, to address the brittleness of InP wafers, adjusting the equipment's polishing head pressure, speed, and polishing pad speed, among other process parameters, is crucial to satisfy the demands of the subsequent bonding process. Experimental validation shows that with the use of special molds and the polishing head pressure set to 20.684 kPa, along with polishing head and pad speeds of 93 r/

收稿日期: 2023-07-26; 修订日期: 2023-08-22.

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (No. 2022YFE0202300); 吉林省与中国科学院科技合作高技术产业化专项资金资助项目 (No. 2022SYHZ0001); 吉林省科技发展计划重点研发项目 (No. 20210201087GX, No. 20210201001GX, No. 2022007743)

min and 87 r/min, respectively, the InP wafer's surface roughness achieves  $R_a \leq 1$  nm, and the copper layer's removal rate is  $3.857 \times 10^{-10}$ /min. This preparation ensures defect-free bonding with 8-inch wafers, eliminating voids at the bonding interface. The CMP process for 2-inch InP wafers on 8-inch equipment significantly lowers CMP costs, prevents the increase in surface particle size and scratches during wafer transfer, and facilitates hybrid bonding and Cu interconnections between InP and Si wafers.

**Key words:** chemical mechanical polishing; InP; removal rate; bonding; surface roughness

## 1 引言

磷化铟(InP)作为具有代表性的第二代半导体材料,具有高光电转换效率、超高的饱和电子漂移速度、宽禁带宽度、较强的抗辐射能力和良好的导热性等优点,广泛应用于探测器、激光器和传感器等方面,在人工智能、航空航天和智能驾驶等领域都有非常大的应用潜力<sup>[1-5]</sup>。Tsushima等利用金属有机物化学气相沉积(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)法分别在InP/SiO<sub>2</sub>/Si和InP/Si衬底上制备激光二极管,以InP/SiO<sub>2</sub>/Si为衬底的激光二极管具有更高的发光峰且半峰全宽(Full Width at Half Maximum, FWHM)值更小,这要归功于InP/SiO<sub>2</sub>/Si衬底具有更加光滑的表面以及优秀的绝缘性<sup>[1]</sup>。Chen等通过研究InP/SiO<sub>2</sub>界面、SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>界面和SiO<sub>2</sub>/Si界面对电子迁移率的影响,当InP与SiO<sub>2</sub>形成异质结后,整体的电子迁移率要高于其他两种复合界面,同时InP层的厚度也会影响整体的电子迁移率<sup>[2]</sup>。由于制备InP晶圆的难度非常大,目前只有美国和日本可以生产6寸及更大尺寸的InP晶圆,而我国普遍使用2寸InP晶圆。使用InP晶圆以硅通孔(Through Silicon Via, TSV)技术制备背照式红外探测器件时,需要采用异质键合和Cu互连工艺,以保证读出电路晶圆与感光晶圆的键合界面不产生空洞等缺陷。也就是说,键合之前的晶圆表面要非常平坦光滑。化学机械抛光(Chemical Mechanical Polish, CMP)工艺可以使晶圆表面平坦光滑,保证后续的键合效果。

与传统抛光技术相比,CMP具有操作简单、表面加工精度高、器件损伤率低和加工面积大等优点,是目前公认的表面抛光效果最好、精度最高的晶圆表面加工方法。随着半导体芯片技术的快速发展,CMP技术在晶圆表面处理中的应

用也越来越多,因此得到不断的优化与改进<sup>[6-17]</sup>。张康等对CMP工艺参数进行优化,通过调整抛光头的压力以及晶圆的相对转速,使加工后晶圆的表面粗糙度小于1 nm,表面不均匀度小于5%,满足TSV工艺对晶圆平坦度的要求<sup>[12]</sup>。王嘉伟等以GaAs晶圆作为加工对象,优化CMP工艺参数,当抛光头压力为1.16 psi、转速为75 r/min、抛光垫转速为80 r/min和抛光液流量为100 mL/min时,晶圆的表面粗糙度为0.477 nm,提高了GaAs晶圆的键和质量,减少了键合界面的空洞<sup>[14]</sup>。Qasim等对碲锌镉晶圆进行加工,通过优化CMP的抛光头转速、抛光液PH值和磨料浓度等参数,在晶圆相对转速为60 r/min、抛光液PH值为9和磨料(SiO<sub>2</sub>纳米颗粒)质量分数为1.25%时加工得到的晶圆的平坦程度最好。使用AFM在481 μm×361 μm的扫描面积上获得的 $R_q \approx 0.9$  nm<sup>[17]</sup>。Zhong等对蓝宝石进行双面CMP加工,研究抛光压力、抛光头及抛光垫相对转速和抛光时间等因素对材料的去除速率、表面粗糙度和表面形貌的影响,证明当压力与晶圆的相对转速逐渐增大时,蓝宝石的表面粗糙度先减小后增大,最终确定抛光压力35.37 kPa、相对转速30 r/min和时间50 min为蓝宝石的最佳加工参数<sup>[18]</sup>。

本文使用8寸CMP设备对2寸InP晶圆表面膜层进行减薄抛光,通过调整抛光头和抛光垫的工艺参数以及研制自制夹具,保证加工后小尺寸InP晶圆的表面粗糙度和平整度满足后续加工的工艺要求。

## 2 工作原理

CMP技术利用化学与机械相结合的方式对晶圆表面减薄抛光。CMP的主要工艺参数包括抛光头压力、抛光垫、抛光头的转速和抛光液

的浓度与流量等<sup>[18-23]</sup>。Preston 方程<sup>[23]</sup>是描述 CMP 过程中材料去除速率与抛光头和抛光垫工艺参数关系的常用公式,具体如下:

$$R_{MR} = C \times P \times V, \quad (1)$$

式中: $R_{MR}$ 代表被加工晶圆的去除速率; $C$ 代表 Preston 系数,是一个常量; $P$ 代表晶圆受到的压力; $V$ 代表晶圆的相对转速。由此可知,晶圆的去除速率与受到的压力和相对转速成正比。图 1 为 CMP 设备的主要组成部分,包括抛光垫、抛光头、抛光台、金刚石修整盘以及抛光液和去离子水供应管。抛光垫根据表面的纹路形状与复杂程度用于晶圆表面的粗抛和精抛。抛光液分为酸性抛光液与碱性抛光液;磨料种类包括  $\text{SiO}_2$  颗粒、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒和  $\text{Si}_3\text{N}_4$  颗粒等,粗抛磨料粒径在 50~250 nm 之间,精抛磨料粒径在 10~50 nm 之间。粗抛过程主要进行膜层的去除,而精抛过程几乎没有去除量,仅起到晶圆表面更加光滑的抛光作用。

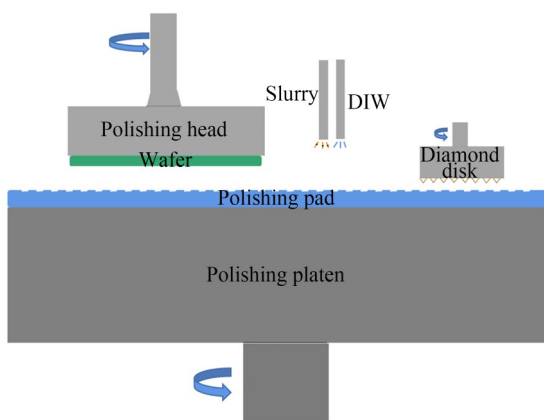


图 1 CMP 的主要组成部分  
Fig. 1 Main components of CMP

图 2 为 CMP 工作原理,这里以加工 Si 晶圆为例,选择碱性抛光液,磨料为  $\text{SiO}_2$  颗粒。首先,抛光头与抛光垫同向转动,使晶圆表面与抛光液充分接触,生成一层很薄的可溶性硅酸盐反应层;然后抛光头向下施加一定的压力,使晶圆与抛光垫紧密接触,在抛光头与抛光垫同向转动的同时,抛光头还会沿着抛光垫的边缘到中心方向进行往返运动,以增大晶圆与抛光垫的接触范围;最后通过磨料的吸附作用与机械摩擦作用将产生的硅酸盐层去除,利用流动的抛光液将去除

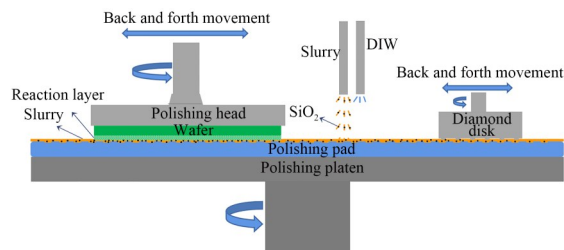


图 2 CMP 工作原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of CMP working principle

掉的硅酸盐等废弃物带离晶圆表面,不断重复此过程,完成对晶圆的减薄抛光工作。为避免 CMP 过程中产生较大颗粒及抛光垫表面异常对 CMP 效果的影响,使用修整盘打磨抛光垫表面,防止多孔结构的抛光垫中残留研磨下来的颗粒划伤晶圆表面,保证工艺质量。

### 3 实验

#### 3.1 设备与耗材

实验过程中,等离子体增强化学气相沉积设备(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD)型号为 AMAT-PRODUCER(美国应用材料有限公司);CMP 设备型号为 HJP-200(中国电子科技集团公司第四十五研究所),晶圆加工平整度  $\leq 0.3 \mu\text{m}$ ;晶圆键合设备型号为 Synapse™ Si(日本 Tokyo Electron Limited 公司),键合晶圆表面弯曲度(Bow 值)  $\leq 30 \mu\text{m}$  时才能进行键合工艺;2 寸 InP 与 8 寸 Si 进行晶圆键合后的缺陷检测使用超声扫描检测设备(Auto Wafer 300,德国 PVA Tepla 公司);CMP 研磨速率监测及膜厚测试设备型号为 KLA-F5X(美国 KLA-Tencor 公司);晶圆表面形貌及粗糙度测试使用原子力显微镜(Atomic Force Microscope, AFM)(Dimension FastScan,美国布鲁克公司)。

主要耗材包括:酸性抛光液,磨料为  $\text{SiO}_2$  颗粒(安集微电子科技(上海)有限公司);抛光垫(湖北鼎龙化学股份有限公司);UV 蓝膜和双面胶(无锡市恒惠胶粘制品有限公司);树脂环(龙达塑胶制品有限公司);晶圆(锦州神工半导体股份有限公司)。部分 InP 晶圆和 Si 晶圆进行的 TSV 工艺和镀 Cu 工艺均采用外协方式完成。实验过程中使用的去离子水(Deionized Water, DIW)为实验室自制。

### 3.2 CMP 实验

#### 3.2.1 InP 晶圆夹具设计

因为 CMP 精抛过程没有去除量,几乎不会改变晶圆的表面形貌,因此只对粗抛过程的工艺参数进行调整。首先,使用 PECVD 法在 InP 晶圆表面生长一层厚度为  $1.3\ \mu\text{m}$  的  $\text{SiO}_2$ 。利用双面胶将 2 寸 InP 晶圆临时粘在 8 寸 Si 晶圆的中心位置,加工示意图如图 3 所示。经过实验,使用此结构对 InP 晶圆进行加工,晶圆中心位置与边缘位置的厚度存在明显的差异,如图 4 所示。从图中可以看出,晶圆的边缘位置出现明显的颜色变化,这是因为此处的  $\text{SiO}_2$  层厚度发生明显变化,而中心位置的颜色与初始状态基本一致,说明此处  $\text{SiO}_2$  层的厚度未发生改变。这是因为抛光垫材质较软,当抛光头对 InP 晶圆施加一定压力时,与晶圆接触位置的抛光垫会发生凹陷,使晶圆的边缘位置相较于中心位置受到的力更大,从而导致晶圆边缘的去除量要大于中心位置的去除量。

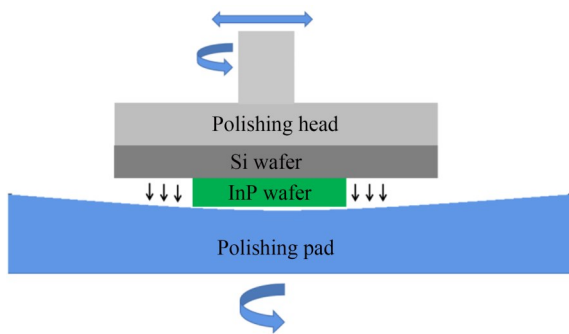


图 3 2 寸 InP 晶圆 CMP 夹具设计及工作示意图

Fig. 3 Fixture design and working diagram for CMP of 2 inch InP wafer

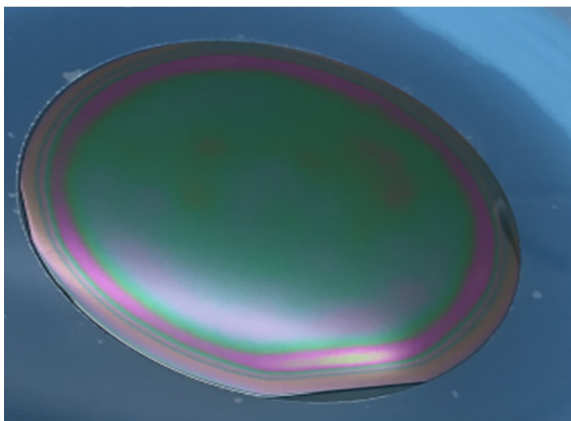


图 4 初期 2 寸 InP 晶圆的 CMP 实际效果

Fig. 4 CMP actual effect of initial 2-inch InP wafer

通过技术改进,使用树脂环作为夹具对 InP 晶圆进行减薄抛光工作。加工前通过 UV 蓝膜将树脂环与 InP 晶圆进行连接,具体操作如下:第一步,在水平的洁净操作台上铺一层无尘布防止晶圆正面被桌面划伤;第二步,将树脂环放在无尘布上;第三步,将 InP 晶圆背面向上放置在树脂环中心位置;第四步,将带有 UV 蓝膜的晶圆环放置在晶圆与树脂环之上,通过刮膜板将树脂环与 InP 晶圆粘在 UV 蓝膜上,并保证粘接位置没有气泡;第五步,使用切膜刀片沿着树脂环边缘将多余的 UV 蓝膜割掉,完成树脂环与晶圆的连接工作。加工完成后,将晶圆送入 UV 解胶机中,消除 UV 蓝膜黏性,单独取出 InP 晶圆并保存,完成晶圆与树脂环的分离工作。

如图 5 所示,对 InP 晶圆进行加工时,因为有树脂环作为支撑,与晶圆接触位置的抛光垫不会出现明显凹陷,晶圆边缘与中心位置受到的压力相同,其去除速率保持一致,因此加工后晶圆的表面粗糙度及平面度得到了提高。图 6 为 InP 晶圆在新夹具下中心与边缘位置去除速率的对比。从图中可以看出,InP 晶圆表面的整体去除速率更加稳定,中心位置与边缘位置的去除速率分别约为  $1\ 140 \times 10^{-10}/\text{min}$  和  $1\ 200 \times 10^{-10}/\text{min}$ 。加工后的晶圆弯曲度(Bow 值)约为  $0.06\ \mu\text{m}$ ,与晶圆的初始状态基本一致。而使用的 Synapse™ Si 型晶圆键合机要求键合晶圆的 Bow 值小于  $30\ \mu\text{m}$ ,远远大于被加工晶圆的实际 Bow 值,说明使用树脂环夹具对 InP 晶圆进行减薄抛光加工后平面度满足键合机的要求。另外,通过实际测量确定晶圆中心位置与边缘位置的去除速率,根据 Preston 方程,晶圆相对转速不变,晶圆加工时中心位置与边缘位置受到的压力也几乎相同,因此加工后的晶圆具有良好的平面度。

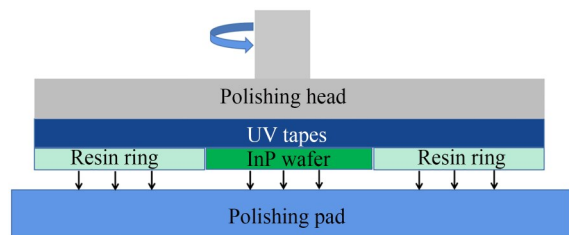


图 5 改进后的 InP 晶圆夹具及 CMP 工作示意图

Fig. 5 Improved InP wafer fixture and CMP working diagram

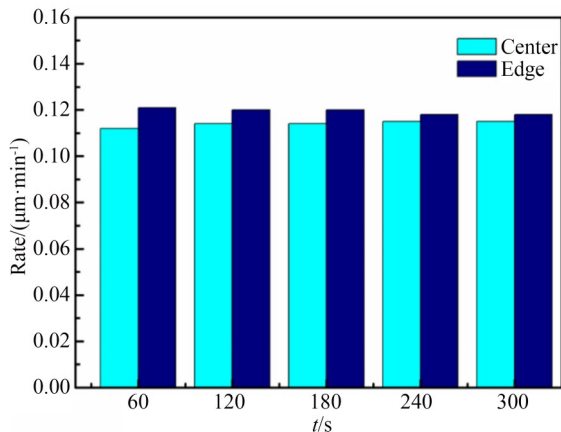


图6 InP晶圆边缘与中心CMP去除速率的对比

Fig. 6 Comparison of CMP removal rate between edge and center of InP wafer

由于CMP长时间不间断工作会导致晶圆与抛光垫接触位置的温度变高,抛光垫不能处于一个较好且稳定的工作环境,表面微结构发生显著改变,从而造成晶圆表面划伤、平坦度变差和抛光垫表面损伤等情况。经过验证,实验使用的CMP设备的最高持续工作时间为120 s,为保证实验结果的稳定,这里选择60 s作为晶圆单次加工时间。

## 4 结果与讨论

### 4.1 压力对InP晶圆表面形貌及粗糙度的影响

在研究CMP的压力对InP晶圆表面形貌及粗糙度影响时,先将InP晶圆表面进行TSV工艺并沉积一层厚度为 $2.7\ \mu\text{m}$ 的Cu层。其他CMP工艺参数如表1所示,抛光头压力作为变量 $X(X=17.237, 20.684, 24.132\ \text{kPa})$ 。当压力设定为 $17.237\ \text{kPa}$ 时,需要连续进行15次Cu CMP

表1 压力为变量时CMP磨铜工艺参数

Tab. 1 Process parameters for CMP copper with pressure as variable

参数	数值
抛光头压力	$X$
抛光头转速/( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ )	93
抛光垫转速/( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ )	87
抛光液流量/( $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ )	150
单次抛光时间/s	60

工艺,将InP表面约 $2.7\ \mu\text{m}$ 厚的Cu层去除。但是,在使用AFM对InP晶圆表面的粗糙度及铜柱剩余情况进行检查时发现,铜孔中的铜柱均高于InP晶圆表面,图7为经过15次Cu CMP后InP晶圆表面Cu柱的情况,此时晶圆的表面粗糙度 $R_a=0.983\ \text{nm}$ ,Dish深度为 $-45\ \text{nm}$ 。InP晶圆在以这种状态进行后续的键合工艺时,会频繁出现键合失败的情况,而使用AUTO wafer 300对键合成功的晶圆进行键合效果检测时发现,键合位置出现多处较大面积的空洞,如图8所示。实验分析认为,出现以上情况是因为经过多次CMP之后,Cu柱高度超过晶圆表面过多,在后续键合过程中的Cu互连阶段,两片晶圆上的Cu柱发生挤压。需要将键合后的晶圆进行解键,重新送入CMP中,去除突出的铜柱。

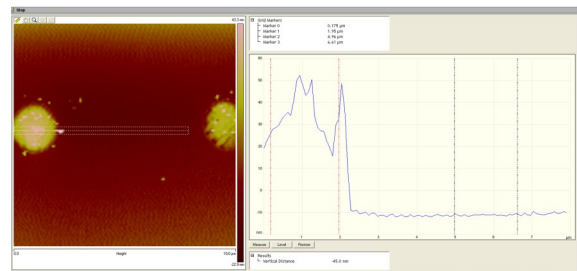


图7 InP晶圆表面Cu柱突出

Fig. 7 Prominent of Cu pillar on surface of InP wafer

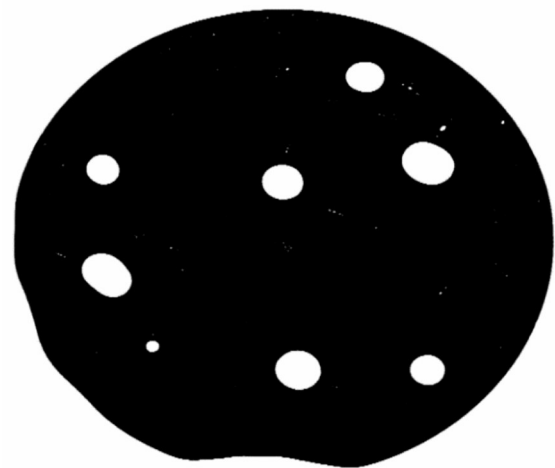


图8 InP晶圆与8寸Si晶圆的键合结果

Fig. 8 Bonding of InP wafer with 8-inch Si wafer

当抛光头压力为 $17.237\ \text{kPa}$ 时,由于压力过低导致CMP工艺次数过多,表面Cu柱过高影响

后续的键合效果,导致前期工艺开发进度缓慢,后期批量生产的产品质量也无法保证。

当抛光头压力 20.684 kPa 时,需要进行 7 次 CMP 工艺,就可以将 InP 晶圆表面的 Cu 层去除,使用 AFM 对 InP 晶圆表面的粗糙度和铜柱状态进行检查,得出的 Cu 柱具体情况如图 9 所示。从图中可以看出,Cu 柱的高度略低于 InP 晶圆表面,此时 InP 晶圆的表面粗糙度  $R_a=0.624$  nm, Dish 深度为 31.4 nm。将 InP 晶圆与同样经过 TSV 工艺、镀 Cu 工艺和 CMP 工艺的 8 寸 Si 晶圆进行键合。使用 AUTO wafer 300 检查键合效果,以及键合位置是否存在空洞等缺陷。与设定抛光头压力为 17.237 kPa 时相比,压力设定为 20.684 kPa 时的 CMP 次数大大减少,InP 晶圆的表面粗糙度  $R_a$  更小,这不仅提高了 CMP 工艺效率,还增加了后续 InP 键合工艺的良好率。

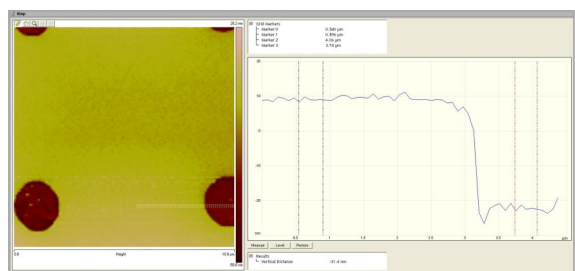


图 9 Cu 柱低于 InP 晶圆表面

Fig. 9 Cu pillar below surface of InP wafer

经过上述工艺实验后,继续提高抛光头压力至 24.132 kPa,仅需 3 次 CMP 就可以将 InP 表面的 Cu 层去除,但在使用 AFM 对 InP 晶圆表面的粗糙度和铜柱进行检查,得出如图 10 所示 Cu 柱的情况,插图为 InP 晶圆边缘的 Cu 柱情况。通过测量,中心位置的 Cu 柱高度要高于边缘处 Cu 柱。这可能是因为,当抛光头压力过大时,与 InP 接触的抛光垫位置会发生凹陷,导致 InP 晶圆边缘位置比中心位置受到更多来自抛光垫的相对压力,从而对后续的异质键合及 Cu 柱互联都会产生一定的影响。虽然 CMP 的工艺速度得到了提高,但造成整体 Cu 柱高度差较大、Cu 柱无法互连等问题。因此,确定抛光头压力为 24.132 kPa,是 InP 进行 CMP 表面磨铜的最佳工艺参数。

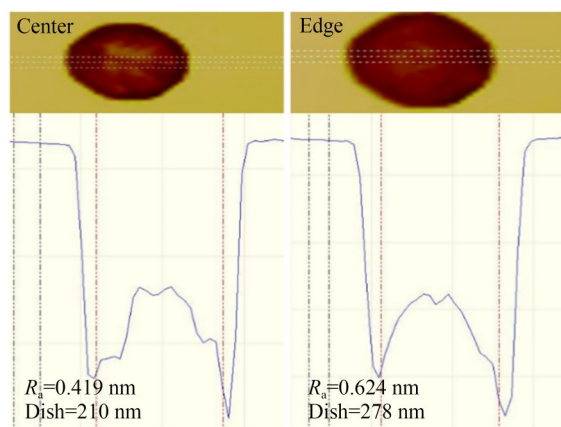


图 10 InP 晶圆中心及边缘 Cu 柱形貌

Fig. 10 Morphology of Cu pillars at center and edge of InP wafer

#### 4.2 抛光头与抛光垫的转速对 InP 晶圆表面形貌及粗糙度的影响

在研究 CMP 中抛光头与抛光垫转速对 InP 表面形貌及粗糙度的影响时,InP 晶圆同样进行了 TSV 工艺及镀 Cu 工艺,其他参数如表 2 所示。因为抛光头与抛光垫的旋转方向相同,因此存在一个相对速度。实验证明,两个旋转速度的比值在 0.9~1.2 时,晶圆上的每一点在抛光垫上的运动轨迹都很复杂,相同位置的运动轨迹不会重复,从而提高晶圆的减薄抛光质量,延长抛光垫的使用寿命。在抛光头压力为 20.684 kPa 时,将抛光头与抛光垫转速作为变量 Y 和 Z ( $Y:Z=61:59;93:87;105:102$  r/min)。

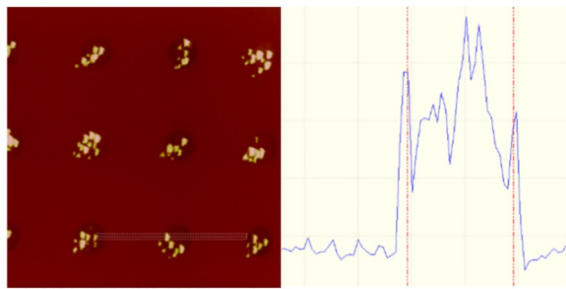
表 2 转速为变量时 CMP 磨铜的工艺参数

Tab. 2 Process parameters for CMP copper at variable speeds

参 数	数 值
抛光头压力/kPa	20.684
抛光头转速	Y
抛光垫转速	Z
抛光液流量/(mL·min <sup>-1</sup> )	150
单次抛光时间/s	60

当设定抛光头与抛光垫的转速比  $Y:Z=61:59$  r/min 时,相同条件 InP 晶圆表面的  $2.7 \mu\text{m}$  Cu 层需要连续进行 10 次 CMP 工艺才可去除。通过 AFM 对此时的 InP 晶圆表面形貌进行观察,发现晶圆表面上的 Cu 柱大部分略高于

晶圆表面,且 Cu 柱的形貌不规则,形状不完整,如图 11 所示。从图 11(a)可以看出,经过 CMP 工艺后,Cu 柱仍高于晶圆表面且呈现锯齿状突出状态。图 11(b)展现了单个 Cu 柱的状态。虽然此时 CMP 中 head 与 pad 的转速比值在 0.9~1.2 内,但两个部分的转动速度比较慢,导致抛光液中的磨料颗粒在与 Cu 层接触时,不能充分去除接触部分的 Cu,导致大部分的 Cu 柱略高于晶圆表面,且柱状结构不完整。



(a) Cu 柱整体存在状态 (b) 单一 Cu 柱存在状态  
(a) Monolithic condition of Cu (b) Condition of a single Cu pillar pillars

图 11 2 寸 InP 晶圆表面的 AFM 图

Fig. 11 AFM image of 2 inch InP wafer surface

当设定抛光头与抛光垫的转速为  $Y:Z=93:87$  r/min 时,仅需要 7 次就能将  $2.7\ \mu\text{m}$  的 Cu 层去除,InP 晶圆的表面形貌如图 12 所示。经过 CMP 工艺的 InP 及 Si 晶圆在键合后,实现了 2 寸 InP 与 8 寸 Si 晶圆的异质键合及 Cu 互连工艺,键合结果如图 13 所示。从图中可以看出,2 寸 InP 与 8 寸 Si 晶圆的键合部分完整无碎裂且没有空

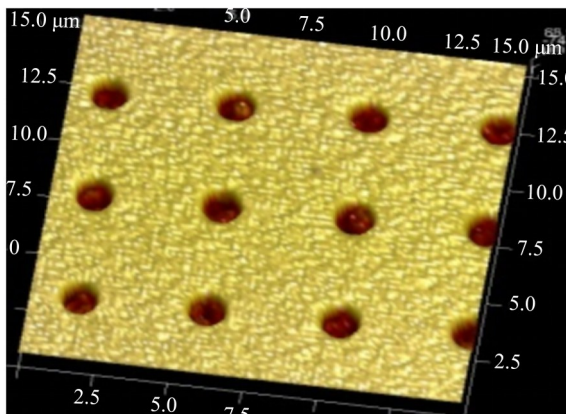


图 12 2 寸 InP 晶圆 CMP 后的表面形貌

Fig. 12 Surface topography of 2-inch InP wafer after CMP



图 13 2 寸 InP 晶圆与 8 寸 Si 晶圆的键合结果

Fig. 13 Bonding results of 2-inch InP wafer with 8-inch Si wafer

洞,满足继续进行后续工艺的条件。

抛光头与抛光垫的转速分别为 93 r/min 和 87 r/min 时已经满足 CMP 工艺要求,再适当提高两部分转速至  $Y:Z=105:102$  r/min,此时仅需要 5 次抛光即可去除晶圆表面的 Cu 层,但是通过对单片进行退火实验时发现,Cu 柱无法突出实现晶圆之间的 Cu 互连。图 14 为单片进行退火实验后 Cu 柱的状态。转速提高后,虽然 CMP 工艺次数减少,但 Cu 柱出现过磨的情况,在 2 寸 InP 与 8 寸 Si 晶圆键合后,Cu 柱极有可能无法实现互连,直接影响产品良率,造成不可挽回的经济损失。因此,当 8 寸 CMP 设备的抛光头压力为 24.137 kPa,且抛光头与抛光垫的转速分别为 93 r/min 和 87 r/min 时,使用自制夹具可对小尺寸(2 寸)InP 晶圆的表面 Cu 层进行减薄抛光,加工出来的晶圆符合后续的工艺要求。

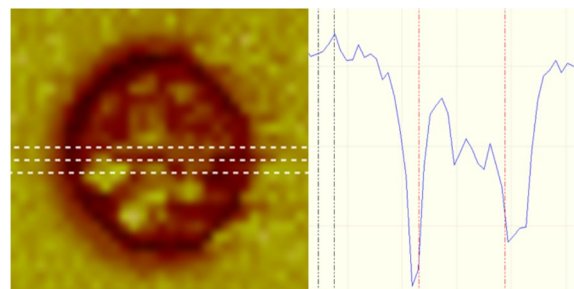


图 14 InP 晶圆退火后单个 Cu 柱的形貌

Fig. 14 Morphology of single Cu pillar after annealing of InP wafer

## 5 结 论

本文通过调整CMP工艺参数及设计夹具,在抛光头压力为3 psi,抛光头与抛光垫转速分别为93 r/min和87 r/min时,在8寸CMP设备上进行2寸InP晶圆的减薄抛光,铜层的去除速率达到 $3.857 \times 10^{-10}$ /min,晶圆表面粗糙度 $R_a \leq 0.624$  nm,且晶圆表面的Cu柱形状完好,深度保持在30 nm左右,实现了InP晶圆与Si晶圆的异质键

合和Cu互连工艺。上述方法解决了小尺寸InP晶圆在8寸CMP设备上兼容性的问题,大大降低了半导体的工艺成本,避免晶圆在不同设备之间转移过程中出现的表面污染和划伤等问题。同时,保证了晶圆在进行表面减薄抛光工艺时所处环境的统一性,避免引入其他变量,为键合等后续加工提供更稳定的工艺条件,同时也为研究其他不同尺寸材料CMP工艺的科研人员提供参考。

### 参考文献:

- [1] HAN X, TSUSHIMA K, SHIRAI T, *et al.* Characteristics of multi-quantum-well laser diodes with surface electrode structure directly bonded to InP template on SiO<sub>2</sub>/Si substrate [J]. *Physica Status Solidi (a)*, 2021, 218(10): 1423-1428.
- [2] CHEN Y, YANG L N, JIN Z, *et al.* Effect of fixed charges at interface between InP and bonding layer on heterogeneous integration of InP HEMTs [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2021, 68(5): 2226-2232.
- [3] KIMURA S, GAMO H, KATSUMI Y, *et al.* InP nanowire light-emitting diodes with different pn-junction structures [J]. *Nanotechnology*, 2022, 33(30): 305204.
- [4] ZHANG Y T, WANG Y, LI X P, *et al.* A wide-band mono-bit digital receiver circuit using InP/CMOS 3D heterogeneous integration [J]. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 2021, 107(3): 695-702.
- [5] 龙耀强,单晓,武文,等. 基于InGaAs/InP低噪声GHz单光子探测器研究(特邀)[J]. *红外与激光工程*, 2023, 52(3): 3788/IRLA20220901.  
LONG Y Q, SHAN X, WU W, *et al.* Low-noise GHz InGaAs/InP single-photon detector (invited) [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2023, 52(3): 3788/IRLA20220901. (in Chinese)
- [6] SON J, LEE H. Contact-area-changeable CMP conditioning for enhancing pad lifetime [J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(8): 3521.
- [7] KRISHNAN M, LOFARO M F. *Copper Chemical Mechanical Planarization (Cu CMP) Challenges in 22 nm Back-end-of-line (BEOL) and Beyond* [M]. *Advances in Chemical Mechanical Planarization (CMP)*. Amsterdam: Elsevier, 2022: 29-50.
- [8] XIE X Z, PENG Q F, CHEN G P, *et al.* Femto-second laser modification of silicon carbide substrates and its influence on CMP process [J]. *Ceramics International*, 2021, 47(10): 13322-13330.
- [9] QU Z L, WANG W S, LI X L, *et al.* Measurement and error analysis of Cu film thickness with Ta barrier layer on wafer for CMP application [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2021, 70: 1-10.
- [10] DENG J Y, ZHANG Q X, LU J B, *et al.* Prediction of the surface roughness and material removal rate in chemical mechanical polishing of single-crystal SiC via a back-propagation neural network [J]. *Precision Engineering*, 2021, 72: 102-110.
- [11] KIM J, BAE C, KWAK D, *et al.* Investigation of 2-way injection method on Cu CMP process [J]. *ECS Meeting Abstracts*, 2021, (20): 809.
- [12] 张康,李婷,刘小洁,等. 基于TSV技术的CMP工艺优化研究[J]. *电子工业专用设备*, 2019, 48(4): 1-4, 64.  
ZHANG K, LI T, LIU X J, *et al.* Application of CMP process optimization in TSV technology [J]. *Equipment for Electronic Products Manufacturing*, 2019, 48(4): 1-4, 64. (in Chinese)
- [13] JIANG B C, ZHAO D W, WANG B Q, *et al.* Flatness maintenance and roughness reduction of silicon mirror in chemical mechanical polishing process [J]. *Science China Technological Sciences*, 2020, 63(1): 166-172.
- [14] 王嘉伟,许英朝,杨凯,等. CMP工艺参数对AlGaInP基LED衬底转移的影响[J/OL]. *激光杂志*, 2023: 1-6. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1085.tn.20230516.1444.006.html>.  
WANG J W, XU Y C, YANG K, *et al.* Effect of CMP process parameters on the substrate trans-



- fer of AlGaInP-based LEDs [J/OL]. *Laser Journal*, 2023: 1-6. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1085.tn.20230516.1444.006.html>. (in Chinese)
- [15] 曾毅波, 张杰, 许马会, 等. MEMS 中基底和薄膜的 CMP 制造技术[J]. *光学精密工程*, 2018, 26(6): 1450-1461.  
ZENG Y B, ZHANG J, XU M H, *et al.* Fabrication of substrate and film in MEMS using CMP [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2018, 26(6): 1450-1461. (in Chinese)
- [16] ZENG N Y, LIU Y L, CHENG Y S, *et al.* Study on enhancement and mechanism of  $K_2SO_4$  in CMP slurries for copper film polishing removal effect [J]. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2023, 153: 107176.
- [17] QASIM M, PARTHIBAN P, DAS D. Surface planarization of CdZnTe wafers: effect of slurry formulation and CMP processing parameters on surface planarity [J]. *Journal of Solid State Science and Technology*, 2022, 11(8): 084008.
- [18] 谢顺帆, 赵群, 梅旭鲲, 等. 微 LED 显示基板 CMP 过程中铜/钛/TEOS 的去除速率选择比优化 [J]. *半导体技术*, 2022, 47(7): 531-538.  
XIE S F, ZHAO Q, MEI X K, *et al.* Optimization for removal rate selection ratio of copper/titanium/TEOS during CMP of micro-LED display substrate [J]. *Semiconductor Technology*, 2022, 47(7): 531-538. (in Chinese)
- [19] CRISTOBAL MARISCAL J, SAMPURNO Y, SLUTZ D, *et al.* Effect of various CVD-coated conditioning disc designs and polisher kinematics on fluid flow characteristics during CMP [J]. *Journal of Solid State Science and Technology*, 2020, 9(2): 024005.
- [20] ZHANG P, CHEN G M, NI Z F, *et al.* The effect of  $Cu^{2+}$  ions and glycine complex on chemical mechanical polishing (CMP) performance of SiC substrates [J]. *Tribology Letters*, 2021, 69(3): 94.
- [21] 庞龙飞, 李晓波, 李婷婷, 等. SiC 晶片超精密化学机械抛光技术 [J]. *微纳电子技术*, 2021, 58(11): 1035-1040.  
PANG L F, LI X B, LI T T, *et al.* Ultra precision chemical mechanical polishing technology for SiC wafer [J]. *Micronanoelectronic Technology*, 2021, 58(11): 1035-1040. (in Chinese)
- [22] LI Z Y, DENG Z H, HU Y X. Effects of polishing parameters on surface quality in sapphire double-sided CMP [J]. *Ceramics International*, 2020, 46(9): 13356-13364.
- [23] ZWICKER G. *Applications of Chemical Mechanical Planarization (CMP) to More than Moore Devices* [M]. *Advances in Chemical Mechanical Planarization (CMP)*. Amsterdam: Elsevier, 2022: 533-557.

#### 作者简介:



成 明(1994—),男,吉林长春人,硕士,研究实习员,2016年、2019年于长春理工大学分别获得学士和硕士学位,主要从事光电探测器研制及工艺等方面的研究。E-mail:chengm@ciomp.ac.cn