

国家标准《刻蚀机用硅电极及硅环》 编制说明（送审稿）

一、 工作简况

1、立项目的与意义

刻蚀用硅部件包括硅环和硅电极，主要用于 8-12 英寸（即 200mm-300mm）等离子刻蚀机上。在集成电路制造过程中，高纯硅部件和晶圆均为硅材料，使得刻蚀电学性能更加均匀，因此硅部件制品广泛用于半导体刻蚀机中。硅部件制品周期性消耗，成为晶圆加工过程的重要零部件耗材，直接影响晶圆的电学性能，比如一个硅环在加工约 200 片晶圆后就需要更换。硅部件制品市场需求主要受芯片厂晶圆加工能力驱动，按全球目前晶圆生产情况，全球年需求 8 寸硅环和硅电极数量分别约 30 万片和 7 万多片，12 寸硅环和硅电极数量分别约 50 万片和 10 万片，市场规模总计约 40 亿人民币。本项目规定的硅电极及硅环是刻蚀设备上使用的关键耗材之一，为当今世界争先发展的高新技术产品，对集成电路的生产过程稳定和质量保证有重要的影响。因此，推进硅电极及硅环标准，自主生产硅材料制品符合集成电路行业装备国产化发展和集成电路产业竞争力提升的需要。

2、任务来源

根据《国家标准化管理委员会关于下达 2019 年第四批推荐性国家标准计划的通知》（国标委发[2019]40 号）的要求，由有研半导体材料有限公司负责《刻蚀机用硅电极及硅环》的制定工作，项目计划编号为 20194172-T-469。2021 年 6 月 4 日，有研半导体材料有限公司名称变更为有研半导体硅材料股份公司，因此本标准第一起草单位也改为有研半导体硅材料股份公司。

3、主要起草单位和工作成员及其所做的工作

本文件的主要起草单位为有研半导体硅材料股份公司、山东有研半导体材料有限公司……。其中有研半导体硅材料股份公司为牵头单位，负责标准主要内容的确定及标准文本、编制说明的编写工作，山东有研半导体材料有限公司等单位在标准编制过程中积极反馈意见，为标准文本的完善做出了贡献。

牵头单位有研半导体硅材料股份公司，原名有研半导体材料有限公司，是由北京有色金属研究总院（简称“有研总院”）作为独家发起人设立的股份有限公司，成立于 1999 年 3 月，主营半导体材料。该公司的前身是有研总院下属的硅材料研究室，建国以来，一直致力于硅材料的研发、生产，并承担了“九五”、“十五”“十一五”期间国家硅材料领域多项重大攻关任务和产业化工程，并支撑和带动了国内相关配套产业和技术发展。现已形

成一系列具有自主知识产权的技术体系和产品品牌，目前主要生产 125mm-200mm 硅单晶及抛光片、硅电极及硅环，并一直开展 300mm 抛光片的研发和生产。产品可用于集成电路、分立器件、太阳能等多个领域，远销美国、日本、西班牙、韩国、台湾、香港等地，在国内外市场具有较高的知名度和影响力。

本文件主要起草人库黎明、孙燕、闫志瑞、张果虎……，其中库黎明、孙燕、闫志瑞牵头起草标准，张果虎等负责标准结构、标准编写质量的把关以及反馈意见，完善标准。

4、主要工作过程

4.1、起草过程

申报计划通过公示之后，2019 年 7 月 10 日由全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会组织，在青海省西宁市召开《刻蚀机用硅电极及硅环》国家标准第一次工作会议（讨论会），共有中国计量科学研究院、南京国盛电子有限公司等 13 个单位 18 位专家参加了本次会议。与会专家对标准资料从标准技术指标、内容和文本质量等方面进行了充分的讨论，提出了修改意见。

2019 年 12 月 31 日，计划正式下达，2020 年 1 月-2020 年 12 月全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会组织成立了标准编制组，由牵头单位组织进行了市场需求、用户要求、相关标准应用以及相关产品的数据统计等方面的调研和收集。在此基础上结合讨论会意见形成了预审稿。

2021 年 3 月 25 日，由全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会组织，在山东省德州市召开《刻蚀机用硅电极及硅环》国家标准第二次工作会议（预审会），共有浙江金瑞泓科技股份有限公司、浙江海纳半导体有限公司、中国计量科学研究院、南京国盛电子有限公司等 20 个单位 35 位专家参加了本次会议。与会专家对标准资料从标准技术指标、内容和文本质量等方面进行了充分的讨论，并提出了修改意见。编制组根据此次会议意见对标准稿件修改后形成了征求意见稿。

4.2、征求意见过程

2021 年 5 月-2021 年 7 月，标准文本发至上海合晶、浙江金瑞泓科技股份有限公司、浙江海纳半导体有限公司、新美光(苏州)半导体科技有限公司、福建精工半导体有限公司等单位征求意见，收到部分反馈意见；全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会将《刻蚀机用硅电极及硅环》征求意见稿上传至国家标准化管理委员会的“国家标准化业务管理平台”，向社会公开征求意见，未收到反馈意见。同时，标委会将征求意见稿资料在 www.cnsmq.com 网站上挂网征求意见。

二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

1、编制原则

1) 查阅相关标准和国内外客户、生产单位的相关技术要求，确定本标准中主要技术指标；

2) 按照 GB/T 1.1 和半导体材料产品标准编写示例的要求进行格式和结构编写；

3) 根据多年来产品的用户要求，确定单晶及硅部件的技术指标。

2、确定标准主要内容的依据

2.1、第1章 范围

本文件中规定的硅电极和硅环是通过拉制硅单晶棒后进行精密加工获得的，目前仅有 p 型<100>晶向，对应的产品直径为 200mm-440mm，主要作为集成电路等离子刻蚀设备中的关键精密部件。

由于磁场拉晶也属于直拉（CZ）方法，加装磁场主要是为了改善硅单晶的氧含量及电阻率均匀性和微缺陷等技术参数，而目前国内提供硅电极、硅环的厂家不是都使用了磁场拉晶，也能达到要求。基于此，本标准的范围规定如下：

本文件中规定了刻蚀机用硅电极及硅环的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、随行文件以及订货单内容。

本文件适用于 p<100>直拉硅单晶加工成的刻蚀机用直径 200 mm~440 mm 的硅电极及硅环。

2.2、第2章 规范性引用文件

规范性引用文件主要规定了术语标准和技术指标检验用方法标准。硅电极、硅环技术指标的检验方法与硅单晶和硅片的检验方法基本一致。

2.3、第3章 术语和定义

增加“平面度”术语，该术语与已有术语“总厚度变化”基本一致，但属于硅部件行业供需双方约定俗成的习惯用语，在用户规范以及质量证明书里都有，因此，在本文件中增加了平面度的术语。

2.4、第4章 技术要求

硅电极、硅环的主要技术要求包括电学参数（即导电类型、电阻率和径向电阻率变化）、几何尺寸、晶向及晶向偏离度、氧含量、碳含量、晶体缺陷、表面质量、表面粗糙度。

（1）总则

硅部件（即硅电极和硅环）虽然属于产品标准，但是和硅单晶、硅单晶抛光片以及硅

单晶退火片这些产品标准有所不同。

硅单晶抛光片、硅单晶退火片是各种器件的衬底片，因此这些产品标准中的部分指标（比如电阻率范围及电阻率均匀性、氧含量、碳含量、厚度等）来源于用户要求，这些指标主要是由用户根据器件的指标要求转化来的；另一些指标（如平整度、弯曲度、翘曲度、颗粒、金属、缺陷等）虽然也是有用户要求，但这些指标多年来都是随着器件的不断进步而不断被要求进步。例如随着直径的增大和线宽的不断降低，几何参数、金属及颗粒的要求都在不断提高，另外还增加了近边缘区域的要求、纳米形貌的要求等等。因此硅单晶抛光片、硅单晶退火片的要求，需要生产方不断通过技术进步来改善晶体和硅片的这些指标来适应不断发展的器件性能要求。

硅部件是被用于器件制造设备刻蚀机的耗材，它不是直接用于制备器件，因此它的指标（电阻率及径向电阻率变化、氧含量、碳含量、晶向及晶向偏离度以及几何尺寸、表面质量等）只要满足用户的要求，且不会由于它的使用给器件带来不利影响即可。虽然，随着器件的更新换代以及不断进步，也会对硅电极、硅环提出新的要求，但这方面始终是以用户要求为唯一前提，而不需要走在器件要求的前面，即作为器件制造设备的刻蚀机，无论是硅电极还是硅环，其基本要求就是不会带来器件的沾污。因此本标准的主要技术指标直接来源于客户要求，而没有必要为追求更好的质量而提高成本。

（2）电学参数及晶体缺陷

在硅单晶拉制过程中，主要是通过设计热场结构和拓宽晶体生长工艺窗口，控制位错、滑移缺陷和电阻率参数，拉制出无滑移位错的硅单晶，电阻率要求一般分三档（见表1），使之满足集成电路刻蚀机用硅部件制造的要求。硅电极、硅环技术指标中，电学参数主要包括导电类型、电阻率及径向电阻率变化，这些指标与产品对应的硅单晶一致，目前量产供应的仅有p型掺硼硅电极、硅环，其电阻率及径向电阻率变化要求基于用户的多批次要求确定，具体见表1。晶体缺陷方面，要求硅电极和硅环应无位错，无滑移缺陷，无可见孔洞。

表1 电学参数

导电类型（掺杂剂）	电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$	径向电阻率变化
p（B）	≤ 0.02	$\leq 10\%$
	1~5	
	65~85	

（2）氧含量、碳含量、晶向及晶向偏离度

硅电极、硅环的氧含量、碳含量、晶向及晶向偏离度、晶体缺陷的指标与其对应的硅单晶也一致，技术指标的检验方法也没有区别。相对来说硅电极、硅环对应硅单晶的具体要求都不及集成电路或分立器件用硅单晶，氧含量、碳含量、晶向及晶向偏离度、晶体缺陷的具体技术要求主要基于刻蚀机厂家或器件厂家要求确定，不给器件制造过程带来沾污即可。具体要求如下：

硅电极和硅环的氧含量应不大于 $1.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ （以原子数计，即 24ppma），这要求来源于客户要求，也可由供需双方协商确定，氧含量的径向变化由供需双方协商确定。

硅电极和硅环的碳含量应不大于 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ （以原子数计，即 1ppma），这要求来源于客户要求，也可由供需双方协商确定。

硅电极和硅环的晶向为<100>，晶向偏离度应不大于 1° 。这是客户要求，只要满足要就可以了。同时作为电极或托架的硅环其晶向对器件没有影响，作为标准内容没有必要深究其为什么没有其他晶向。

（3）几何尺寸、表面质量及表面粗糙度

硅电极、硅环加工的重要一环是机械成型，主要是将硅单晶通过滚磨、截断、线切割、磨床和加工中心对硅单晶进行机械处理，加工成硅电极或硅环需要的圆片状或环状，然后通过平面研磨来去除线切割带来的表面切割纹和降低表面机械损伤和微裂纹，研磨后平面度不大于 $20 \mu\text{m}$ ，再通过腐蚀和抛光处理来降低表面粗糙度，进一步去除因机械加工带来的机械损伤。加工中心主要加工内外径的形状，如内外径倒角等。腐蚀工序使用混酸腐蚀，去除硅部件表面和硅电极微孔内壁的机械损伤。抛光一般采用双面抛光，使表面达到一定的粗糙度和光洁度。对于硅电极，在刻蚀过程中其主要作用是用于反应体气体通过微孔均匀进入反应腔体内，微孔尺寸、分布和内壁质量对刻蚀产品电学性能有直接的影响。为了达到微孔边缘倒角的效果，要优化磨削工艺，采用更细的磨削砂轮，提高表面的粗糙度水平，腐蚀时优化混酸的配比，进一步提高表面的光洁度，同时采取特殊抛光技术，精确控制硅电极表面各点抛光去除量。

硅电极、硅环的几何尺寸、表面质量以及表面粗糙度的要求也远不及硅单晶抛光片要求高，但由于硅电极、硅环的直径较大且厚度很厚，所以直径、厚度、平面度等几何尺寸都是采用自动三坐标仪进行的。结合用户要求和硅电极、硅环的生产情况分析，确定了本标准中几何尺寸、表面质量、表面粗糙度的要求，具体如下：

表 2 几何尺寸

项目	几何尺寸	
	硅电极	硅环
直径及允许偏差	(200 mm~440 mm) ± 0.05 mm 具体直径由供需双方根据刻蚀机型号协商确定	
厚度及允许偏差	厚度由供需双方协商确定, 允许偏差为 ± 0.05 mm	
平面度	≤ 20 μ m	
定位孔直径及公差	定位孔直径由供需双方协商确定, 允许偏差为 ± 0.1 mm	
倒角 ^a	外边缘(或内外边缘)倒角尺寸及允许偏差: 0.3 mm ± 0.1 mm 或由供需双方协商确定	
	微孔的倒角形状及尺寸由供需双方协商确定	—
微孔直径及允许偏差	0.5 mm ± 0.1 mm, 或由供需双方协商确定	—
内径	—	内径尺寸由供需双方协商确定, 硅环内径允许偏差为 (0mm, +0.1mm)
同心度	—	≤ 0.1 mm
垂直度	—	≤ 0.1 mm
^a 定位孔的倒角为保护性倒角, 对倒角形状、尺寸无具体要求。		

硅电极和硅环的表面及端面(包括倒角面)为抛光面, 表面应无划伤、沾污、崩边和色差, 定位孔应无油污。

硅电极和硅环的表面粗糙度 Ra 应不大于 10 nm, 或由供需双方协商确定。

(4) 其他

对于硅电极、硅环产品, 今后的发展是会随着器件要求而进步, 例如更大的直径、更精密的控制以及随着器件的金属含量要求的不断下降而面临硅单晶拉制过程中对金属的控制水平。众所周知, 半导体材料中的金属基本都是有害的, 由于体内金属含量低, 目前的检测技术很难满足要求, 比如, 目前只有 SPV 方法可以检测体内极少数金属如铁、铜、镍, 而该技术需要专门的设备, 且目前该设备的检测对象是标称直径的抛光片。其他方法如 SIMS、GD-MS 等由于检出限不够而无法满足要求。因此, 控制金属含量永远是半导体行业的重要课题, 而金属的控制主要是由工艺控制来保证。

2.5、第 5 章 试验方法

试验方法章针对第 4 章中的技术指标逐一规定如何检验。

2.6、第 6 章 检验规则

检验规则章主要规定了检查验收的一般规则, 组批规则、检验项目及取样、检验结果

的判定。

（1） 组批

硅电极、硅环是由直拉硅单晶棒切割、加工后获得，每批由同一规格、同一硅单晶加工后的硅电极或硅环组成。这样可以确保硅电极、硅环的晶向、氧含量、碳含量、晶体缺陷、导电类型、电阻率、径向电阻率变化等关键指标的一致性和可追溯性。

（2） 检验项目

每批硅电极或硅环的导电类型、几何尺寸、表面质量、表面粗糙度供方是对产品逐一进行检验的，由于产品直径大、厚度厚（一般在 10cm 左右），所以通常的硅片几何参数的检验设备一般都不适用，目前都是使用自动三坐标设备测量。由于只有上述测试项目是针对产品的，可以进行产品检测。

硅电极或硅环的晶向及晶向偏离度、氧含量、碳含量、晶体缺陷结果来自于对应的硅单晶的检测，通常都是在机械加工前会先对这些项目进行检验，合格后才进入后续加工。这些指标由供方对每根硅单晶进行检验，检验方法与硅单晶标准没有区别，由供方在随行文件中提供检验结果，这些指标无法在产品上检测。

电阻率及径向电阻率变化通常也是在硅单晶完成后进行测试的，但是针对产品也可以进行检测，所以这部分内容可以由供需双方协商确定。

在多年的产品供应中，由于硅电极、硅环的技术要求远不及硅单晶抛光片产品，目前供应产品满足用户要求也基本没有出现问题。用户实际上也基本不具备检测设备和条件，所以检验项目的确定主要考虑可操作性。

（3） 取样

晶向及晶向偏离度、氧含量、碳含量、晶体缺陷的取样都是在硅单晶拉制后，加工成硅部件产品之前完成的，因此，取样的规定和硅单晶标准类似，也是行业内公认的取样位置和数量。

几何尺寸以及表面质量、表面粗糙度的取样参照硅单晶的参数执行。

（4） 检验结果的判定

由于电阻率和径向电阻率变化来源于用户要求，只要满足要求并不对器件产生直接影响即可，电阻率和径向电阻率要求也不是很具有挑战性的指标，且产品直径大、厚度厚，没有特殊装置也很难进行检验，因此实践中可由供需双方协商判定。

因为产品的晶向不完全等同于单晶的晶向，所以晶向的检验通常是在单晶棒切割时确定，切割后检验。但是仲裁时的晶向严格来说是要在对产品做的，可以破坏产品完成。由

于晶向、导电类型是不允许犯的错误，所以产品如果有这方面的疑问，无论如何都是需要完成测试且会被一票否决的。所以标准中晶向的测试位置写的是产品端面。

几何尺寸、氧含量、碳含量、晶体缺陷、表面粗糙度的检验结果中如有任一项不合格，则对该批不合格的项目按标准中表 3 对应的规定进行重复试验，对重复试验结果仍不合格的产品，则判该批产品不合格。硅电极和硅环的氧碳含量、晶体缺陷都是在单晶检验中完成的，可以追溯样品及重新检验，几何尺寸和粗糙度针对产品是可以重新检验的，但需要专门的设备。这些指标对目前的生产上都是比较容易做到的，所以不需要加严。

2.7、第 7 章 标志、包装、运输、贮存及随行文件

产品生产、检验之后进行包装、标志、运输、贮存，并按批提供随行文件。具体内容结合硅电极、硅环实际情况以及半导体材料标准确定。

2.8、第 8 章 订货单内容

订货单内容中规定了需方订购硅电极、硅环的订货单内，建议列出的内容，可包括产品名称、技术要求、数量、本文件编号等内容。

3、主要试验（或验证、调研）情况分析

首先国外没有标准，我们也没看到企业标准，另外，因为不需要在用户要求的基础上加严，所以统计数据没有意义，因为统计的结果产品肯定都满足用户规范要求，同时也不能以实际测试结果来修改指标。另外，所有涉及生产的统计数据都是公司的机密，在没有必要的情况下不能提供。我们会在后续提供我们的相关产品合格证作为我们生产产品的佐证。

基于 2.4 对技术指标的分析，我们在不断进行衬底硅材料研发的基础上，可以满足今后对硅部件指标要求的进步。

三、采用国外标准程度及标准水平分析

本标准没有对应的国际标准或国外先进标准。本标准定位国际 水平。

四、与有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系

本标准与国家现行法律、法规和相关强制性标准不存在相违背和抵触的地方。

五、重大分歧意见的处理经过和依据。

无。

六、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性国家标准发布实施。

七、代替或废止现行有关标准的建议

本标准是首次制定标准，不存在废止和替代的问题。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议

本标准发布后首先需保证有足够的标准文本，并及时发放至相关单位，同时由归口标委会及牵头单位组织标准宣贯或编写宣贯材料，促进标准的实施。

九、其他需要说明的事项

目前国际上硅电极及硅环无统一的标准，只有刻蚀机厂家内部的标准，如 TEL、LAM 和 AMAT。本标准的制定，可解决中国硅电极及硅环产品标准缺失的问题，提高硅电极及硅环的国产化技术水平，促进该产品替代进口。

经过原国标委工业一部、工业二部认可，半导体材料标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会（SAC/TC 203）与全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会（SAC/TC 203/SC2）共同提出并归口，具体见标委工二函[2014]22 号。

标准编制组

2021 年 9 月