国家标准

半导体晶片近边缘几何形态评价

第2部分：边缘卷曲法（ROA）

编制说明

（报批稿）

山东有研半导体材料有限公司

二〇二四年八月

1. **工作简况**

**1. 立项目的和意义**

目前，半导体材料特别是大直径硅片的技术、设备、市场被国外垄断，不仅阻碍了国内集成电路产业的发展，更严重威胁国家信息安全。以半导体硅片为例，目前国内8英寸硅单晶抛光片约90%依赖进口，12英寸硅片95%以上依赖进口。尤其在当前国际形势下，保障国家集成电路产业供应本土化的需求越为迫切。

随着硅片直径的增加和线宽的不断降低，对硅片几何参数的要求也在不断提高，而影响硅片几何参数的最大因素来源于硅片的近边缘区域。究其原因主要是和目前使用的硅片加工工艺有关，由于研磨、腐蚀、抛光工艺本身的边缘效应特点，硅片在近边缘区域的厚度、平整度等形态的控制难度相对更大，因此在近边缘区域，硅片几何形态参数变差的现象相对更为常见。因此有效地评价和管控大直径晶片，如300mm抛光片和外延片的近边缘品质和近边缘形态，进而提高硅片整体质量和集成电路芯片的成品率，进一步提升技术代的升级都有着重要的意义。特别是在目前的国际形势下，发展我国自己的大直径、高质量半导体硅片，彻底摆脱在半导体材料和器件方面的落后状态更是有着非常重要的意义。

关于近边缘形态的评价，SEMI在2007年以来已陆续出台了一系列针对大直径硅片近边缘区域几何形态的四个评价标准，以不同的测试区域、计算方法对这一区域进行评价，量化了近边缘区域的几何形态参数。有效的评价和管控硅片的近边缘区域几何形态。国内各大12英寸抛光片生产厂家也都具备了相应的测试设备。因此，制定近边缘几何形态评价的国家标准，使得供需双方的指标和评价方法都有据可依更是显得尤为重要。

**2. 任务来源**

根据《国家标准化管理委员会关于下达2024年推荐性国家标准修订计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发[2024]16号）的要求，由山东有研半导体材料有限公司牵头制定国家标准《半导体晶片近边缘几何形态评价 第2部分：边缘卷曲法（ROA）》，计划编号为20240496-T-469, 要求于2025年04月完成。

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，已上传至标准制修订系统。

**3. 标准主要起草单位及人员所做的工作**

**3.1标准主编单位简介**

山东有研半导体材料有限公司（山东有研）成立于2018年8月，由有研半导体硅材料股份公司和德州经济技术开发区景泰投资有限公司共同出资成立，注册资本150000万元。2019年有研半导体硅材料股份公司的主体生产线由北京搬迁至山东德州后，山东有研承接有研半导体硅材料股份公司的资产和业务，公司主营业务是半导体材料及其他新材料的研发、生产、销售、贸易。主要产品包括数字集成电路用6-12英寸硅单晶及硅片、功率集成电路用6-8英寸硅片、3-6英寸区熔硅单晶及硅片、集成电路设备用超大直径硅单晶及硅部件等，产品可应用于集成电路、功率器件、太阳能等多个领域，远销美国、日本、韩国、台湾等多个地区，在国内外市场具有较高的知名度和影响力。其投资控股公司有研半导体硅材料股份公司（以下简称“有研硅”）成立于2001年6月，系中央企业有研科技集团有限公司（以下简称“有研科技集团”）的下属公司，注册资本130161万元人民币。有研半导体是国家级高新技术企业和首批国家技术创新示范企业，拥有半导体材料国家工程研究中心、国家企业技术中心，共建了国家有色金属及电子材料分析测试中心，位于北京市高新技术产业云集的中关村科技园区，员工七百余人，拥有整套具有自主知识产权的半导体硅材料的核心技术和符合国际标准的先进厂房设备。公司前身为有研科技集团401室，自上世纪50年代开始硅材料研究，承担了国家908、909、科技重大专项等重大工程和专项，拥有多项第一科研和产业化成果：拉制出国内第一根直拉硅单晶和第一根区熔硅单晶，生长出国内第一根12英寸硅单晶并为院士联合评为1997年十大科技新闻，第一家实现8英寸硅片批量产出，第一家建立12英寸硅片中试线。相关技术人员起草和参与编制国家标准五十余项，拥有包括博士和硕士研究生在内的科研技术人员150人，检验检测设备58台套。

**3.2 标准的主要起草人及工作职责**

本标准的主要起草人及工作职责见表1。

表1 主要起草人及所做工作

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 起草人 | 工作职责 |
|  |  | 负责标准的工作指导，标准审核，标准框架的制定、标准的起草、试验方案的制定，组织协调等 |
|  |  | 负责稿件审核的组织，进度推进等 |
|  |  | 负责标准试验方案的执行 |
|  |  | 负责标准技术方面的支持 |

1. **主要工作过程**

任务下达后，山东有研半导体材料有限公司牵头成立了专门的标准编制小组，对大直径硅片的近边缘形态的参数、用户要求、目前设备情况、以及相关SEMI标准等方面的内容进行了充分的调研，结合日常测试实践，形成了本标准的讨论稿，同时制定了单个实验室和多个实验室的测试方案。项目编制组认真研究了SEMI 标准中针对近边缘形态的4个标准，对近边缘形态的4个表示参数及之间的关系进行了深入的研究。根据标准立项会议的意见，近边缘形态的四个评价标准组成一系列标准，ROA是其中的一个评价参数，本文件是近边缘几何形态的评价方法之一。

2024年8月22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，在江苏省徐州市召开国家标准《半导体晶片近边缘几何形态评价 第2部分：边缘卷曲法（ROA）》第一次工作会议（讨论会），XXXX等单位的专家参加了会议。会上，与会专家对标准文本进行了详细的讨论，并提出了修改意见。根据本次会议的要求，编制组对标准稿件进行了修改和完善。形成了标准征求意见稿及编制说明（征求意见稿）。

1. **标准编制原则和确定标准主要内容的依据**

**1. 编制原则**

1）本文件主要依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的原则进行起草。

2）标准编制过程中，充分考虑了国内生产企业的生产、测试现状及技术发展趋势。

**2. 确定标准主要内容及确定依据**

标准编制过程中充分考虑与会专家的修改意见和征求意见稿的反馈意见，在经过充分试验验证的基础上，确定了本标准的范围、方法原理、规范性引用文件、干扰因素等内容，以下对此次标准编制过程中的主要技术内容进行说明。

**2.1范围**

本文件参照了SEMI M77-1015的技术内容，规定了适用于大直径晶片近边缘几何形态的评价方法之一：边缘卷曲度。这里大直径主要指直径300mm及450mm的抛光或外延片。目前主要用于300mm硅抛光片和外延片，但原则上也可以用于其他半导体材料以及更大尺寸的标称直径晶片；而对于8英寸以下的更小尺寸，SEMI M77-0421版是针对300mm和200mm的直径，在SEMI M77-1015版里，增加了450mm直径。目前国内没有对200mm以及更小直径晶片的近边缘几何形态的评价需求，也没有测过450mm直径的晶片。考虑到上述各种因素，确定了本标准的适用范围：“本文件适用于硅抛光片、外延片、SOI片及其他带有表面层的晶圆片，也可用于其他半导体材料晶圆片近边缘几何形态的评价。注：目前该方法主要用于直径300mm的硅片。”

**2.2 引用文件**

该标准在编制过程中，根据实际情况，引用了GB/T 14264 《 半导体材料术语》、GB/T 16596《确定晶片坐标系规范》、GB/T 25915.1-2021洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级等标准。

**2.3 术语和定义**

为了方便标准的使用者，本文件只给出了卷曲度 edge roll off amount ROA、中心参考、边缘参考、边缘卷曲测量点、边缘卷曲确定的基准线、基准区域等密切相关的术语，其他涉及近边缘的术语均引用GB/T 14264 。

**2.4 方法原理**

本文件的基本原理是将晶片边缘按照不同的圆心角划分为若干个扇形区域，根据GB/T 16596建立晶片坐标系，按照每隔45°设置边缘卷曲测量点。选取每个扇形区域中高度数据阵列拟合出不同类型的基准线。基准线一般分为线性基准线或立方曲线基准。对于厚度测试数据一般选择线性基准线，对于正表面或者背表面高度数据一般选择立方曲线基准。逐一计算沿半径方向实测数据与基准线之间的偏差。进而定量评价半导体晶片的近边缘区域边缘卷曲的程度。该标准目前推荐将晶片分为8个角度的测试方向。

**2.5 干扰因素**

本文件在编制过程中参考了SEMI M77-1015标准，涵盖了SEMI 标准的技术内容和要求。同时结合设备要求以及测试和评价过程中出现的问题，对干扰因素从人、机、料、法、环方面考虑并做出识别，对测试环境条件、仪器设备提出了要求。在测试过程中，评价区间的选择、测量点的位置、基准线的类型和测试面不同，最后计算的结果也会有一些差异；在生产过程中，晶片的实际直径与公称直径会有一些偏差，这些偏差也会影响高度数据阵列的测试结果，是由于对于边缘卷曲来说一般采用的是边缘参考，导致测量点位置和基准区域的位置发生了变化，影响评价的客观性。

2.6 试验条件

为获得良好的试验结果，经广泛征求行业内相关单位的意见，最终确定试验条件如下：

a)温度：23℃±3℃；

b)相对湿度：相对湿度40%±10%；

c)空气洁净度：不低于GB/T 25915.1-2021中规定的5级。

**2.7 仪器设备**

本文件原则上不涉及晶片的测试设备，根据试验数据处理里的扇形分割要求和计算公式，利用任何满足要求的数据阵列都可以得到ROA的评价。换言之，利用已经得到的一系列晶片上高度或厚度测试数据即可进行定量计算、评价。至于数据阵列是用什么方法、什么设备测的，本文件不涉及。同时，本标准只是对在大直径镜面晶片上的近边缘区域进行评价，不涉及晶片的材料。由于目前国内达到300mm直径的晶片，且对近边缘评价有要求的只有硅材料，因此本次巡回测试用的都是硅抛光片和外延片，使用的设备都是激光干涉测距原理的全自动设备。

为了满足数据的采集，对测试数据的设备提出高度分辨率、数据阵列间距等要求，同时对与边缘去除、在数据阵列采集区域中可能出现的晶片夹持、激光标识、切口区域等要求去除区域进行了要求，从而保证了测试的一致性。

目前该测试方法被用于300mm的抛光片和外延片的最终检测，其环境均为高于5级的洁净间，虽然GB/T 25915.1-2021 《洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级》标准中没有关于洁净间等级与相应的温湿度要求的规定，因此在试验条件中给出了温度和相对湿度的规定。目前硅片最终检测洁净间温湿度都优于在试验条件中给出的指标。总之，本标准的测试设备要求源于SEMI M77，也符合当前该测试方法使用的设备指标。

2.8 试验步骤

对测试点位置设置，SEMI 标准里的默认值是8个扇形，对于有定位缺口的晶片，分别选取0°，45°，90°，135°，180°，225°，275°，315°8个角度；对于没有定位缺口的450mm晶片，选取0°，45°，90°，135°，180°，225°，270°，315°。选择基准线的类型，线性基准线或立方曲线基准。其次选择评价区间，一般评价区间包括基准线段和测量点、基准区域的位置。由于300 mm直径的硅片目前在国内的使用，陪片还占有相当大的比例，用户要求提供ROA参数的不多。

**2.9 试验数据处理**

包含了对近边缘高度或厚度数据的获取和计算。在设定了一系列采样位置后，首先确定一个评价区间、基准线，根据实测高度数据阵列数据和基准线的距离计算ROA数值。再重复上述步骤，获得整个近边缘区域圆形角的ROA的分布。

**2.10 精密度**

对ROA的评价而言，用于评价近边缘的几何形态有三个不同的参数，即厚度参数以及正表面和背表面高度参数。三者之间既有密切的联系，有存在不同。具体用什么参数应由供需双方协商确定，特别是应由需方根据器件的工艺需求提出要求。这三个参数可以单独获取，也可以同时完成，但需要在测试之前对想要获取的数据进行设置。由

四个实验室进行了5个硅片的巡回测试，数据详见试验报告。

**三、标准水平分析**

近年来，国际上开始对近边缘实行评价，对象主要针对直径300mm以上的硅片，国内起步更晚一些，且依赖于购买的进口测试设备。除了SEMI标准之外，国内外没有相关标准，文献也很少。本标准制定过程中参照国外标准的同时，也结合多年来的实践，在标准中融入了多年来测试、校准的经验，更具有使用价值；SEMI标准中只对采样、计算进行了规定，没有ROA参数的重复性、再现性数据，我们通过巡回测试，给出了单个实验室和多个实验室的精密度数据，同时还尝试了使用其他设备对晶片数据高度的取样，采用自己编程进行计算，不仅为使用该标准的可信度提供了可靠的数据，为该方法在小尺寸如6英寸和8英寸片近边缘的评价提供了可行性，也为国内设备商对设备的研制提供了参考，为摆脱依赖进口提供了依据。本标准达到国际先进水平。

**四、标准中涉及专利的情况**

本标准中未涉及专利问题。

**五、与我国有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系**

本标准与现行的法律、法规及国家标准、国家军用标准、行业标准没有冲突，不涉及知识产权纠纷。

**六、重大分歧意见的处理经过和依据**

编制组根据起草前确定的编制原则进行了标准起草，标准起草小组前期进行了充分的准备和调研，并做了大量调查论证、信息分析和试验工作。标准在主要技术内容上，行业内取得了较为一致的意见，标准起草过程中未发生重大分歧意见。本标准的实施与现有的其他标准没有冲突之处。

七、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。建议发布后六个月实施。

八、代替或废止现行有关标准的建议

本标准是首次制定标准，无代替或废止现行标准的建议。

**九、采用国际标准和国外先进标准的情况**

本标准编制过程中未采用国际标准或国外先进标准。

**十、贯彻国家标准的要求和措施建议**

本标准是目前大直径硅片生产、科研中应用广泛的标准。在国内由于300mm硅单晶抛光片和外延片的快速发展，近边缘系列标准的制定和实施具有一定的前瞻性，本标准的制定和推广，能积极有效地规范国内半导体晶片近边缘形态的评价方法，有利于半导体行业的发展，从而更好地满足半导体产业发展的需要。为了更好地发挥该标准的作用，使该标准在尽可能短的时间里在生产及使用单位得到应用，该标准发布后建议组织标准宣贯推广会，积极促进标准的实施。

**十一、其他需要说明的事项**

本标准根据目前国内行业现状制定，如果以后测试技术有较大更新，可在下一版中进行补充修订。本标准作为推荐性国家标准供大家使用，若对结果有疑义，以供需双方商议的测试方法为准。

标准编制组

2024年08月