**国家标准《半导体晶片电阻率及半导体薄膜薄层电阻的测试 非接触涡流法》**

**编制说明(送审稿)**

1. **工作简况**
2. **立项目的和意义**

半导体的电学性能与杂质类型、杂质浓度、温度、晶体缺陷等因素密切相关，对器件性能有决定性的作用。例如，晶体管的击穿电压就直接与硅单晶的电阻率有关。半导体晶片的电学性能对器件性能有决定性的作用，其中电阻率是最直接、最重要的参数，直接反映出了晶体的纯度和导电能力，直接影响器件的性能指标。在器件设计时，根据器件的种类、特性以及制作工艺等条件，对半导体电阻率的均匀性和可靠性都有一定的要求。因此，半导体电阻率的测试就显得至关重要。近年来，随着半导体测试技术的不断发展，为满足半导体材料（特别是单晶材料）的自动化生产流水线在线检测的需求，非接触涡流法检测电阻率的技术也已逐渐应用，成为微电子工业中测试半导体材料电阻率的一种主要手段，同时这种方法具有非破坏性、精度高、操作简便等优点，在检测行业也获得广泛应用，尤其是硅单晶、非本征导电的砷化镓、低阻碳化硅单晶、氮化镓单晶等半导体衬底材料和在电阻率较高的衬底上制备硅或砷化镓薄膜薄层中的方块电阻，该方法已成为必不可少的半导体材料的电阻率测试方法。

随着半导体晶片非接触涡流法检测技术的发展，原来GB/T6616-2009《半导体硅片电阻率及硅薄膜层电阻率测试方法非接触涡流法》标准只针对硅单晶材料，但是，目前非接触涡流法也广泛应用于非本征导电的砷化镓、低阻碳化硅单晶、氮化镓单晶等材料，急需修订相应的标准，对已可以测试的材料进行补充完善，规范并统一测试。另外，原标准“标准片”范围近些年也发生了变化，因此此次修订同时更改了“标准片”标称值的范围。

1. **任务来源**

根据《国家标准化管理委员会关于下达2020年第三批国家标准制修订计划的通知》（国标委综合[2020] 53号）的要求，由中国电子科技集团公司第四十六研究所负责制定《半导体晶片电阻率及半导体薄膜薄层电阻的测试 非接触涡流法》，计划编号为20204892-T-469，要求完成时间2022年。

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，已上传制修订系统。

1. **主要工作过程**

**3.1、起草阶段**

项目立项之后，成立了标准修订小组，落实了标准主要内容、涉及范围、检测和参与单位、时间节点等工作，标准编制组于2022年7月初完成了讨论稿。2022年8月，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，在宁夏自治区银川市召开了《半导体晶片电阻率及半导体薄膜薄层电阻的测试 非接触涡流法》标准第一次工作会议（讨论会），共有有研半导体材料有限公司、南京国盛电子有限公司、中国计量科学研究院等13个单位41位专家参加了本次会议。与会专家对标准的讨论稿认真地进行了逐字逐句的讨论，对本标准的技术要点内容和文本质量进行了充分的讨论，会议中专家对标准名称、适用范围、术语、测试环境、试验报告等方面提出了修改意见，根据银川会议的要求，编制组对讨论稿进行了修改和补充，于2022年9月完成了征求意见稿及编制说明。

**3.2、征求意见阶段**

2022年9月编制组形成了征求意见稿，将征求意见稿及编制说明，发函半导体材料相关的生产、使用、检测等相关单位广泛征求意见。结合征求的意见，编制组对标准整体进行梳理和修改，于2022年6月再次将征求意见稿和编制说明发函征求意见。共征求了20家单位意见，其中4家单位回函，4家单位提出了意见，共征集到5条意见，具体见意见汇总表。

2022年9月-2022年10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在国家标准化管理委员会的“国家标准化业务管理平台”上挂网，向社会公开征求意见，未收到反馈意见。同时，标委会还通过工作群、邮件向委员单位征求意见，并将征求意见资料在[www.cnsmq.com](http://www.cnsmq.com)网站上挂网征求意见。征求意见的单位包括主要的生产、经销、使用、科研、检验等，征求意见单位广泛且具有代表性。

1. **标准主要起草单位及人员所做的工作**

中国电子科技集团公司第四十六研究所是我国最早从事半导体材料研究的单位之一，承担了国家各有关部门安排的大量科研项目研究及配套任务，其中多数达到国内领先或国际先进水平。具有硅、锗、砷化镓、氮化铝、氧化镓晶体生长和加工技术完整的生产线。半导体材料测试方面，2010年中国电科46所质检中心通过国家认证认可监督管理委员会的CNAS实验室认可，成为国际间互认的实验室（中国电子科技集团公司第四十六研究所中世博实验室），2014年3月得到国家认监委CAL授权，正式挂牌“国家电子功能及辅助材料质量监督检验中心”，有完整的半导体材料测量设备和仪器，多年来，凭借自身的技术优势，为国内外客户提供了大量的检测服务。同时拥有一批高素质的科研、生产和管理专业人才，曾制（修）订了多项半导体材料测试标准，填补了多项国内相关测试标准空白，有丰富的制（修）订标准的经验。

本文件主要起草单位中的中国电子科技集团公司第四十六研究所为牵头单位，组织了标准起草和试验复验工作，有色金属技术经济研究院有限责任公司对标准各环节的稿件进行了审查修改，确保标准符合GB/T 1.1的要求，有研半导体材料有限公司、浙江海纳半导体有限公司、中国计量科学研究院、浙江金瑞泓科技股份有限公司、TCL中环新能源科技股份有限公司、南京国盛电子有限公司、东莞市天域半导体科技有限公司、北京天科合达半导体股份有限公司等单位参与了复验工作或者在标准研制过程中积极反馈意见，为标准文本的完善做出了贡献。

本文件主要起草人刘立娜、何烜坤牵头起草标准、试验复验，李素青负责标准结构、标准编写质量的把关，孙燕、骆红、高英、朱晓彤、张海英、潘金平、黄笑容、张雪囡丁雄杰、佘宗静等人员参与了标准复验或是完善标准文本质量。

1. **标准编制原则及确定标准主要内容的依据**
2. **编制原则**

（1）本文件编制主要依据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）本文件规定了用非接触涡流法测试硅、砷化镓、碳化硅单晶等材料的电阻率，以及在衬底上制备的薄膜薄层电阻，其衬底薄层电阻至少为薄膜的1000倍以上。本方法也适用于其它半导体材料。

——按当前半导体材料发展，给出了本方法适用的材料包括硅、砷化镓、碳化硅单晶等材料，以及在衬底上制备的薄膜薄层材料，其衬底薄层电阻至少为薄膜的1000倍以上材料。

——规定了测试的范围、测试环境、仪器设备参数设置、干扰因素、测试步骤、测试结果精密度等。

1. **标准主要内容的确定依据**

本标准根据国内半导体材料表面质量表征的实际情况，结合我国半导体行业的发展现状修订而成。本标准规定了适用范围、术语和定义、方法原理、干扰因素、环境条件、仪器设备、试验步骤等内容。以下对此次标准制定过程中的主要技术内容进行说明。

* 1. **范围**

更改了非接触涡流法测试的适用范围。

本文件规定了用非接触涡流法测试硅、砷化镓、碳化硅单晶等材料的电阻率，以及在衬底上制备的薄膜薄层电阻，其衬底薄层电阻至少为薄膜的1000倍以上。本方法也适用于其它半导体材料。

本文件适用于测量直径或边长大于25mm、厚度为0.1mm～1mm的单晶片，其中可测试的单晶电阻率范围为0.001Ω•cm～200Ω•cm，适用于薄膜的薄层电阻测试范围为2Ω/□～3.0×103Ω/□。

**2.2、规范性引用文件**

增加了规范性引用文件GB/T 25915.1洁净室及相关受控环境 第1部分：空气洁净度等级。

删除了规范性引用文件GB/T 1552。

**2.3、术语和定义**

增加了GB/T 14264界定的术语和定义适用于本文件。

**2.4、方法原理**

将晶片试样平插入一对共轴涡流探头（传感器）之间的固定间隙内，与振荡回路相连接的两个涡流探头之间的交变磁场在晶片上感应产生涡流，则激励电流值的变化是晶片电导的函数。通过测量激励电流的变化即可测得试样的电导。当试样厚度已知时，便可计算出试样的电阻率。

**2.5、干扰因素**

**2.5.1、晶片表面质量和厚度的干扰因素**

如果晶片表面被沾污或表面有损伤，会造成测试结果误差。

如果晶片厚度测试引起的误差，会造成测试结果的误差。

**2.5.2、环境条件的干扰因素**

如果测试环境的温度、湿度和光照强度的不同会影响测试结果。

如果测试设备附近有高频电源，会产生一个加载电流引起电阻率值误差，所以必须提供屏蔽保护和电源滤波装置。

**2.5.3、测量时间的干扰因素**

如果测量时间大于1s，涡流在晶片上造成升温。

**2.5.4、测量校准片和参考片的干扰因素**

如果测试碳化硅和砷化镓单晶时，由于大部分用硅片作为校准片和参考片，测量温度非23℃时，用硅电阻率温度系数换算，会造成测试结果的误差。

如果测试过程中，参考片与测试片的之间存在一定的温度差异，会造成测试结果的误差。

**2.6、仪器设备**

**2.6.1、涡流传感器组件**

由可供半导体晶片插入的具有固定间隙的一对共轴线探头、放置晶片的支架（需保证晶片与探头轴线垂直）、晶片对中装置及激励探头的高频振荡器等组成。选择一个能穿透5倍晶片或薄膜厚度能力的高频振荡器，该传感器可提供与晶片电导成正比的输出信号。

**2.6.2、信号处理器**

用模拟电路或数字电路进行电学转换，把薄层电导信号转换成薄层电阻值。当被测试样为晶片时，通过晶片的厚度再转换为电阻率。处理器应具有显示薄层电阻或电阻率的功能。当试样未插入时应具有电导清零的功能和具有用已知校准样片去校准仪器的功能。

**2.7、测试环境**

更改了测试环境温度和环境区域洁净度的要求

环境温度为23 ℃±2℃，相对湿度不大于60%，测量环境应有电磁屏蔽，电源应有滤波，环境区域应符合GB/T 25915.1中定义的7级洁净室要求。

**2.8、试验步骤**

方法1 五点法

仪器校准，将标准片正面向上放在支架上，插入上下两探头之间。硅片中心偏离探头轴线不大于1.0mm。比较ρ(T)值与实际测量值，对仪器进行校正。

根据试样电阻率的范围选择一组（5块）电阻率参考片。每块参考片在输入厚度后，由支架插入上下探头之间，其中心偏离探头轴线不大于1mm，依次测量每块参考片在环境温度下的电阻率值。

将每块参考片在环境温度T时测得电阻率值ρ(T)换算成23℃的电阻率值ρ(23)。

计算出各参考片的电阻率允许偏差范围的最大值和最小值，最大值=标定值+5%标定值+1数字，最小值=标定值-5%标定值-1数字。

输入晶片试样的厚度值，如果测量薄膜的薄层电阻，可输入薄膜加上衬底的总厚度；将晶片试样正面向上放在支架上，插入上下探头之间，晶片中心离探头轴线偏差不大于1mm；如电阻率测试环境温度为23°C，直接记录电阻率显示值ρ’(23)；如电阻率测试环境温度不是23°C，则根据当时测试环境测量值ρ(T)，将显示值换算成23°C时的电阻率值ρ’(23)并记录。

方法2 两点法

仪器校准，将标准片或参考片正面向上放在支架上，插入上下两探头之间。硅片中心偏离探头轴线不大于1.0mm。测量当前环境下两个样片的电阻率，并记录。画图标出两个样片当前温度T时的电阻率值ρ(T)和23°C标定值ρ(23)的点并连接。

测量体电阻试样时，将试样的测量值定位在图的纵坐标上，将测量的水平线与图中的标定线相交，将标定交点上方的垂线延伸到实际的横坐标上，记录横坐标交点处的数值，作为样品的实际值。

**2.9、精密度**

试验样品选用4寸、6寸砷化镓单晶，4寸、6寸碳化硅单晶各一片，在8家不同实验室按本方法测量电阻率。

1. **试验情况**

本标准参加巡回测试的厂家有：中国电子科技集团公司第四十六研究所、有研半导体材料有限公司、浙江金瑞泓科技股份有限公司、浙江海纳半导体股份有限公司、浙江中晶科技股份有限公司、TCL中环新能源科技股份有限公司、东莞市天域半导体科技有限公司、北京天科合达半导体股份有限公司。

具体试验验证报告见附件。

**三、标准水平分析**

本标准为第二次修订，参考了国内MF673-0317《半导体硅片电阻率及硅薄膜薄层电阻率测试方法》，主要针对硅、砷化镓和碳化硅单晶材料，扩大该标准的使用范围。根据各实验室提供的测试数据，确定了目前国内该项测试技术的精密度水平。

本次标准的修订，不但扩大了砷化镓和碳化硅材料电阻率涡流法表征方法，更提高了测试数据的可靠性与可重复性，有利于提高国产新型半导体材料的质量控制技术与样品品质，本标准达到了国际一般水平。

**四、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况**

本标准是对GB/T 6616-2009《半导体硅片电阻率及硅薄膜薄层电阻测试方法 非接触涡流法》的修订和补充，仅修订了测试技术内容和标准结构、格式，与现行的法律、法规及国家标准、国家军用标准、行业标准等均没有冲突，不涉及知识产权纠纷。

**五、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。

**六、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议**

本标准是半导体单晶晶体电阻率质量的测试方法，建议将本标准作为推荐性国家标准实施。

**七、废止现行有关标准的建议**

本标准颁布后，将代替GB/T 6616-2009《半导体硅片电阻率及硅薄膜薄层电阻测试方法 非接触涡流法》，GB/T 6616-2009标准可废止。

**八、贯彻国家标准的要求和措施建议**

本标准的实施与现有的其他标准没有冲突之处。本标准的制定和推广，有利于规范行业的发展，有利于国内新型半导体单晶材料的质量监控与品质提升的需求，有利于提高国内新型半导体材料的国内与国际市场竞争能力，实现高端半导体材料的民族自主可控。标准发布后建议组织标准宣贯推广会，促进标准的实施。

**九、其他需要说明的事项**

本标准根据目前国内半导体单晶电阻率的常用测试技术制定，如果以后该项测试技术和测试设备有较大更新，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

2022年10月