国家标准

半导体单晶材料透过率测量方法

编制说明

（预审稿）

中国电子科技集团公司第四十六研究所

二〇二四年七月

1. **工作简况**
2. **制定背景**

半导体材料制成的部件、集成电路等是电子工业的重要基础产品，在电子技术的各个方面已大量使用。半导体材料的生产和科研已成为电子工业的重要组成部分。在多个领域有着重要应用，包括 ：集成电路、微波器件、光电子器件等。且随着应用日益广泛和迅速发展，半导体材料的应用将更加重要和关键。

光学透过率在半导体材料特性表征中已有一定的应用，通过测定透过率，可以方便快捷且无损的针对半导体单晶材料特定应用方向的重要特性进行表征。例如，光电探测器能把光信号转换为电信号。测试半导体材料对光学响应的透射谱及透过率，关系到光电探测器件的响应波长、响应度、光电流等性能；硅集成电路方面，杂质浓度是半导体材料一项至关重要的参数。红外波段透过率可用于表征硅单晶片中的杂质元素浓度，并且其灵敏度高，检出限低至ppb量级。本文件目的在于针对半导体单晶材料的光学透过率，制订一套统一的测试方法，规范从样品处理、检测过程及数据处理等关键步骤，明确适用范围，以提高测试本身的准确度和可靠性，进而为半导体单晶材料特定波长吸收率、透过率、杂质浓度等诸多应用特性的表征奠定基础。

随着电子技术需求和晶片制备技术的发展，晶片面积增大，大尺寸、高透过率、高转换率、高功率输出的半导体单晶材料对相应的光学均匀性也提出了更高的要求，迫切需要一个统一的标准进行规范。

但目前国内外未见此类相关标准或测试方法，相关研究没有统一的测试标准可以依据，不利于相互之间进行数据比对。因此，迫切需要建立本测试方法以适应和促进半导体单晶材料快速发展。

2、**任务来源**

根据《国家标准化管理委员会关于下达2023年第三批推荐性国家标准计划及相关标准计划外文版的通知》（国标委发[2023]58号）的要求，由中国电子科技集团公司第四十六研究所牵头修订《半导体单晶材料透过率测试方法》，计划编号为20231111-T-469, 要求于2024年12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。

**3、起草过程**

**3.1、起草阶段**

制订本文件的承担单位中国电子科技集团公司第四十六研究所是中国主要的半导体材料研发生产单位，研究方向几乎涵盖全部半导体材料，包括硅、锗、碳化硅、氮化镓、氧化镓、硒化镉、氮化铝等，建立了多条主流半导体材料生产线，其中包括硅单晶片、锗单晶片、GaAs单晶片等。任务下达后，中国电子科技集团公司第四十六研究所于成立了《半导体单晶材料透过率测量方法》标准编制组，根据标准制定的原则，落实了标准主要内容、涉及范围、检测、时间节点等工作，开展了相关国内外资料、标准的整理和研讨工作，调研了半导体单晶材料透过率的测试需求，并于2024年3月完成了标准讨论稿。

3.2、**讨论会阶段**

2024年6月5日在湖北省武汉市召开了《半导体单晶材料透过率测量方法》的讨论会，南京国盛电子有限公司、浙江中晶科技股份有限公司、西安龙翔半导体有限公司等 个单位 位专家参加了本次会议。会议中专家对测试范围、方法原理、术语和定义、干扰因素、仪器设备等方面提出了修改意见。根据该次会议的要求，编制组对预审稿进行了修改和补充，于2024年8月完成了预审稿及编制说明。

**4、标准承研单位概况及起草人所做的工作**

牵头单位中国电子科技集团公司第四十六研究所是中国主要的半导体材料研发生产单位，经过几十年的发展，研究方向几乎涵盖全部半导体材料，包括硅、锗、碳化硅、氮化镓等，建立了多条主流半导体材料生产线，其中包括硅单晶片、锗单晶片、GaAs单晶片等。中国电子科技集团公司第四十六研究所质检中心始建于1988年，现有工作人员38人，本科以上学历人员占90 %以上，获得计量认证证书、国家实验室资质授权证书、实验室认可证书。质检中心长期从事电子材料的物理性能、化学成分、结构与表面特性的测试工作。在不断强化技术实力和科研工作的基础上，质检中心也十分重视标准化研究以及国家、行业标准的制修订工作，积极承担标准化项目。质检中心拥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。

本文件的主要起草单位为中国电子科技集团公司第四十六研究所、有色金属技术经济研究院有限责任公司等，其中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，\*\*\*\*\*等单位提供测试样品或参与了复验工作，同时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。

本文件的主要起草人及工作职责见表1。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 起草人 | 工作职责 |
|  | 李静、何烜坤 | 全面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 |

1. **标准编制原则**

**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。

三、**标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析**

**1、主要内容及其确定依据**

依据第一次工作会议（讨论会）的修改意见，更改了测试范围、方法原理、术语和定义、干扰因素、仪器设备等内容，以下对此次标准编制过程中的主要技术内容进行说明。

**1.1 范围**

更改测试范围为：“本文件测试半导体单晶材料在0.2μm~300μm范围内的透过率。本文件适用于半导体单晶材料透过率的测定。”

**1.2 规范性引用文件**

删除了“SJ 20387、SJ 21447、GB/T 21186”三个引用文件；增加了“GJB29199A、FL6134 GJB1926、SJ 21447、FL6134 Q/UK 20249、Q/HIT 30005、Q/UK 20272”六个规范，依此更改了测试样品粗糙度等要求；透过率均匀性变化计算公式引用文件，增加了“GB/T 14144和 GB/T 11073”两个规范。

**1.3 术语和定义**

1.3.1删除了3.4条和3.5条纳米单位表述。

1.3.2 将3.9条样品光谱更改为“用测试样品的光谱扣除背景光谱后获得的谱线。

**1.4方法原理**

更改为“测试半导体单晶材料在0.2μm~300μm范围内的透过率，由于材料的本征吸收，表面散射、以及其内部存在的晶格点阵缺陷、自由载流子对入射光的吸收，导致入射光能量出现损失，光强度降低。采集对应波长光强，得到测试样品谱图，扣除背景光谱后得到测试样品的透过率谱图”。

**1.5干扰因素**

1.5.1 双折射晶体的干扰因素

更改为“具有光学各向异性的双折射晶体，非偏振入射光通过双折射晶体时会发生偏光化，入射光会分解为两种振动方向互相垂直且传播速度不等的偏光。可以用偏振片减少透过样品的光通量损失，提高透过率测试数值的准确性。”

1.5.2测试设备光源的干扰因素

更改为“红外光谱仪光源是聚焦光，由于折射，样品表面反射等因素，会影响透过率测试精度。可以用平行光附件减少测试设备聚焦光源带来得测试误差，提高样品透过率的测试精度。”

1.5.3半导体材料厚度的干扰因素

更改为“样品厚度越厚折射损失越大，影响其透过率测试的准确性，本文件规定测试样品厚度不超过10mm。”

1.5.4半导体材料样品表面粗糙度的干扰因素

更改为“样品表面粗糙度会造成散射，影响其透过率测试的准确性，通过降低样品表面粗糙度可以减少散射损失。”

1.5.5测试设备重复性和误差的干扰因素

把原标准7.1.2、7.2.2、9.1.3作为测试设备重复性和误差的干扰因素，更改为“测试设备本身波长（或波数）的示值误差和重复性、透过比重复性等因素，都会影响透过率测试数值的准确性。每年必须依据JJF1319和JJG178校对测试仪器的波数或波长准确度、重复性和透过比重复性等指标。

1.5.6测试环境的干扰因素

 把原标准9.1.4作为测试环境的干扰因素，更改为“在测试过程中，需监测水蒸汽（1521cm-1）或二氧化碳（667 cm-1）吸收带，保持测试环境干燥。如果测试环境湿度超过了仪器的使用要求，可以用氮气或干燥空气对仪器光路进行充分吹扫,降低仪器内部的相对湿度。

**1.6仪器设备**

1.6.1红外光谱仪更改为“光谱范围为400 cm-1~4000cm-1（2.5μm ~25μm），仪器分辨率为4 cm-1。”

1.6.2紫外、可见、近红外分光光度计更改为“光谱范围为4000 cm-1~50000cm-1（0.2μm ~2.5μm）。

**1.7样品**

 根据样品用途，更改了测试样品粗糙度等要求。

1.7.1制备光学窗口、光学透镜、探测器的晶片样品

1.7.1.1测试样品厚度一般不超过10mm，厚度差应不大于0.01mm；晶片尺寸大小应满足测试设备样品架规格要求。

1.7.1.2测试样品均需双面机械抛光，制备光学窗口、光学透镜的晶片表面粗糙度一般应不大于10nm；制备探测器的晶片表面粗糙度一般应不大于1nm，两面平行度偏差应不大于±0.03mm，测试表面洁净。

1.7.2 制备激光器的晶柱样品

1.7.2.1测试样品厚度一般不超过10mm，整个样品厚度差应不大于0.01mm。样品尺寸大小应满足测试设备样品架规格要求，双面需机械抛光，表面粗糙度一般应不大于1nm，测试表面洁净。

1.7.2.2通光面不平行度视实际产品而定，一般应不大于10″。

1.7.3透过率均匀性测量点选取方案

1.7.3.1点扫描方案距，各边缘距离更改为“从距各边缘4.0mm第一点起”。

1.7.3.2 线扫描方案，更改了图2的表述为“如图2所示。中心点的位置，选在任意两条至少成45°相交的直径交点上，偏离测试样品中心不大于1.0mm。各等间距点的位置，选在与主参考面平行无副参考面一侧的半径上，从距边缘4.0mm的第一点起，点间距可以分别设置为1.0mm或者2.0mm,依次测量各点至距测试样品中心小于0.25mm，不能再测量为止。”

1.7.3.3 面扫描方案，更改为“从距样品边缘4.0mm的第一点起，以固定点距6mm和线距10mm进行全晶片扫描。测试点数以晶片尺寸和均匀性精度要求来确定。”

**1.8 试验步骤**

更改试验步骤的顺序及内容,具体内容如下：

1.8.1开机稳定半小时以后，设置仪器的分辨率、波数或波长范围、扫描次数等测试参数。

1.8.2测量仪器100%基线的噪声水平。对双光束仪器，在样品及参比光路都空着的情况下记录透过光谱。对单光束仪器，在样品光路空着的情况下先后两次记录的光谱之比获得透过光谱。画出测试波长范围内透过光谱的100%基线，如果在这个范围内基线要求没有达到100±0.5%，则要修改测试参数满足基线要求，否则对仪器要进行调整或维修以达到此标准。

1.8.3检查红外光谱仪中刻度的线性度，测试厚度为2 mm的双面抛光本征区熔硅单晶片在1600 cm-1～2000 cm-1 波数范围内扣除空气背景的样品光谱图，在此波数范围内透光率应为53.8%±2%。

1.8.4 对于单光束仪器，需要在仪器光路空着时，测试仪器的背景光谱。将测试样品放入样品室，保证仪器光束通过样品的中心位置，然后测试样品光谱；具有光学各向异性的双折射晶体，测试时让仪器入射光垂直于被测样品的光轴面。

1.8.5在测试样品的同一位置重复测试三次，取透过率测试结果的平均值，保留4位有效数位。

1.8.6透过率均匀性测试，根据8.3确定一种选点方式，每个测量点按照9试验步骤的测试过程进行测量，并记录。

# 1.9测量结果计算

# 1.9.1透过率计算公式1，更改了透过光辐射强度和入射光辐射强度的单位为“W.sr-1”；r符号表述为“反射率”。

1.9.2透过率均匀性变化（ROV）

1.9.2.1依据GB/T 14144和GB/T 11073, 晶片样品点扫描方案和晶柱样品扫描方案的透过率均匀性变化（ROV）计算见公式（2）、公式（3）。

  ………………………………………………(2)

式中：

——四个边缘点透过率的平均值;

To——中心点透过率数值。

1.9.2.2晶片样品线扫描方案透过率均匀性变化（ROV）计算公式， 见公式（3）

 …………………………………………….(3)

式中：

Tmax——测得的最大透过率数值;

Tmin——测得的最小透过率数值;

To——中心点透过率数值。

1.9.2.3晶片样品面扫描方案透过率均匀性变化（ROV）计算公式， 见公式（4）

 ……………… ………(4)

式中：

——所有点透过率的平均值;

Ti——每次测量透过率的结果;

n——采样点的总数；

# 1.10精密度

2、**主要试验和验证情况分析**

本标准精密度实验选取7种双面抛光的半导体单晶材料开展巡回验证实验，测试样品由中国电子科技集团公司第四十六研究所、天通银厦新材料有限公司、有研国晶辉新材料有限公司、中国电子科技集团公司第十三研究所提供;为验证样品厚度对透过率测试的影响，选择材料纯度相同，厚度不同的3个蓝宝石单晶样品进行测试实验。

**四、标准中涉及专利的情况**

本文件中未涉及专利问题。

**五、预期达到的社会效益等情况**

**5.1、社会效益**

目前国内外还没有基于半导体材料透过率的测试标准，本标准填补了国内 “半导体单晶材料透过率”测试方法的空白。本标准将成为覆盖硅、锗、砷化镓、硒化镉、磷锗锌、氮化铝、金刚石等半导体材料透过率测试基准。使得半导体材料透过率检测和验证等方面具有统一的标准规范，进而促进国内半导体材料行业发展。

**5.2、经济效益**

半导体材料制成的部件、集成电路等是电子工业的重要基础产品，在电子技术的各个方面已大量使用。半导体材料的生产和科研已成为电子工业的重要组成部分。在该文件制定过程中，充分调研了我国目前的半导体单晶材料生产企业及用户，使制订后的标准具有充分的先进性、科学性、广泛性和应用性，完全满足国内外客户、市场需求，有利于提高我国半导体单晶材料的质量。该文件测试方法为半导体单晶材料特定波长吸收率、透过率、杂质浓度、吸收系数等诸多应用特性的表征奠定基础，预期企业收入可实现每年10%的增长。
**5.3 生态效益**

本文件的制定是维护半导体行业可持续发展的必要保障，可降低资源的过度开发利用和环境的污染，使资源达到最大限度的使用，节能减排，使企业内部达到低投入高产出的生产，对企业内部的生产、生活条件和环境条件产生有益影响和有利效果，达到良性、高效的循环体系。

**六、采用国际标准和国外先进标准的情况**

本文件制订过程中未采用国际标准或国外先进标准，目前国外没有针对“半导体材料透过率”的测试标准。

**七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性国家标准的协调配套情况**

针对半导体单晶材料光学透过率，目前国内外未见此类相关标准或测试方法；制订该标准的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。

**八、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。

**九、标准性质的建议说明**

本文件是目前国内唯一“半导体单晶材料透过率”的测试方法，建议将本文件作为推荐性国家标准实施。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

本文件的制定和推广，有利于规范行业的发展，有利于半导体单晶材料的质量监控与品质提升的需求，有利于提高国内半导体单晶材料与国际市场竞争能力。标准发布后建议组织标准宣贯推广会，促进标准的实施。

**十一、废止现行相关标准的建议**

本文件填补了国内“半导体单晶材料透过率”测试方法空白，是目前国内唯一的测试标准，不涉及废止现行相关标准。

 **十二、其他应予说明的事项**

本文件通过调研国内电子技术各个方面的需求和半导体材料制备技术发展的基础上，

确定了标准的范围、方法原理、规范性引用文件、干扰因素等内容，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。本文件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。