

国家标准《激光器外延芯片用砷化镓衬底》

编制说明

（征求意见稿）

标准编制组

2025 年 9 月

一、工作简况

(一) 任务来源

根据国标委发[2024]44号文件和《工业和信息化部办公厅关于印发2024年第四批标准制修订计划的通知》中的2024年半导体材料标准项目计划，推荐性国家标准《激光器外延芯片用砷化镓衬底》（计划编号为20243056-T-469）由广东先导微电子科技有限公司牵头起草。

(二) 项目背景

2020年9月，发改委、科技部、工信部、财政部联合发布了《关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见》，强调要加大5G建设投资，加快5G商用发展步伐，并推动基础材料、关键芯片、高端元器件、新型显示器件及关键软件等核心技术的攻关。

光纤通信、新基建、宽带网络产业作为支撑经济社会发展的基础性、战略性和先导性产业，其中光模块与光传感器是核心部件。

砷化镓因其优异的光电性质（如直接跃迁带隙、高电子迁移率、高强度吸收和发射光线能力），被视为制造VCSEL（垂直腔面发射激光器）和激光二极管（LD）的理想衬底材料。随着5G技术和物联网的发展，激光器在光通信领域的应用日益广泛，特别是在数据中心/云计算中采用VCSEL激光器阵列的平行光纤发射器产品已超过100Gbit/s。全球光器件市场规模已达百亿级别，中国光器件市场也在快速扩张。据Yole统计，2020年全球光模块市场规模突破96亿美元，预计到2026年将达到209亿美元，年均复合增长率为14%。以砷化镓衬底为基础的激光器市场应用场景丰富，将极大拉动对激光衬底材料的需求。

目前国内外尚无针对该应用领域的国家标准或行业标准，制定此标准有助于促进生产商与下游企业之间的合作，加强质量监管，提高供应链稳定性和可靠性，确保我国在全球市场的竞争力。

(三) 项目可行性描述

主要参加单位及其所作贡献

3.1 广东先导微电子科技有限公司（以下简称：先导微电子）

前身为广东先导先进材料股份有限公司，成立于2020年9月，位于清远市国家级高新区内。该公司专注于化合物半导体材料、MBE及超高纯材料、微电子化学品的研发、生产、销售和服务，拥有ISO9001、ISO14001、ISO45001、IATF16949等多项管理体系认证。公司重视研发投入，现有员工870余人，其中科技人员占比20.5%，并聘请多名外国专家

作为长期技术顾问。依托母公司建立的多个国家级研发平台，具备强大的技术研发能力。近年来，先导微电子的砷化镓单晶衬底片全球出货量快速增长，成为该领域的核心供应商。

作为本标准起草的牵头单位，先导微电子负责标准的市场调研、标准技术要求的检验测试和分析论证等工作。公司建立了完善的 VCSEL 砷化镓单晶衬底生产工艺技术条件，拥有完整的工艺分析和检测制度和流程，并配备了扫描电镜、粗糙度仪、椭偏仪、PL-Mapping、Hall 测试仪、测平仪、KLA-Tencor、ICP-MS、ICP-OES、GDMS 等检测分析仪对产品质量进行全面检测分析。此外，公司还积极参与标准的制修订工作，拥有丰富的经验和专业的编制团队，能够为标准技术指标的合理设定提供良好的技术基础。

3.2 全磊光电股份有限公司

成立于 2016 年，专注化合物半导体外延片材料研发、生产与销售，为光电子、微电子行业提供光通信、数据中心等领域高品质外延片，涵盖 InP 和 GaAs 基的 FP/DFB/VCSEL 激光器及 MPD/PIN/APD 探测器等产品，技术指标达国际先进水平。公司建有 MOCVD 外延产线及检测中心，通过 ISO9001、IATF16949、ISO14001 体系认证，产品供应中国、日本及欧美客户。

公司凭借核心技术、先进设备及完善品控，成长为业内知名硬科技企业，获国家级专精特新“小巨人”、高新技术企业，福建省“未来独角兽”，厦门市“双百计划”企业等多项荣誉。

在本标准中参与标准技术要求的测试和讨论工作。

3.3 威科赛乐微电子股份有限公司

威科赛乐微电子成立于 2018 年，由广东先导稀材与重庆万林投资共同出资设立，注册资本 3 亿元，位于重庆万州经开区，占地 75 亩，厂房 3.18 万平方米。公司专注化合物半导体材料及芯片，主营砷化镓、磷化铟基 VCSEL 芯片，产品覆盖移动终端、自动驾驶、光通讯等领域，应用于 3D 传感、激光雷达、5G 通讯等场景，兼具外延及芯片代工能力。2023 年底总资产 8.12 亿元，研发投入 5781 万元。

作为国家级高新技术企业、市级绿色工厂，公司建有博士后工作站、企业技术中心，入选国家集成电路重点企业名录。现有员工 230 人，研发及技术人员占比近 40%，含博士 12 人、硕士 20 人。未来聚焦半导体材料与芯片研发，需求功能材料、光电信息、电子科学等领域专业人才。

在本标准中参与标准技术要求的测试和讨论工作。

3.4 北京大学东莞光电研究院

由北京大学与东莞市人民政府共同组建，承担国家、省、市系列重大科研任务，建有广东省院士成果转化基地等多个研发平台。

在本标准中参与标准技术要求的测试和验证工作。

3.5 大庆溢泰半导体材料有限公司

作为国家级高新技术企业、专精特新“小巨人”企业，专注化合物半导体衬底材料研发生产。公司成立于2018年，注册资本8050万元，在大庆高新区建成国内领先的砷化镓材料制造基地。

作为《激光器外延芯片用砷化镓衬底》国家标准主要参编单位，其自主研发的半绝缘砷化镓衬底技术突破国外封锁，指标达国际先进水平，产品应用于5G、自动驾驶等高端领域。公司建有省级企业技术中心，累计申请专利56项，核心团队从业经验超20年，通过全流程技术体系保障产品性能，在行业标准制定中发挥重要作用。

在本标准中参与标准技术要求的测试和讨论工作。

3.6 中国电子科技集团公司第十三研究所

中电科十三所始建于1956年，是我国较早成立的综合性半导体研究所之一，是一所历史悠久、技术实力雄厚的半导体研究所。研究所的专业方向涵盖微电子、光电子、微电子机械系统（MEMS）、高端传感器和光机电集成微系统五大领域，以及电子封装、材料和计量检测等基础支撑领域。拥有专用集成电路国家级重点实验室、国家科技部“863”计划光电子器件产业化基地和MEMS工艺封装基地、博士后科研工作站等多个科研平台。

在本标准中参与标准技术要求的测试和讨论工作。

（四）主要工作过程

4.1 预研阶段：

先导微电子标准化项目规则组在完成市场调研、取证及检验测试分析结果收集整理，形成了申报书、建议书和草案。

4.2 立项阶段：

本标准经过多轮专家论证后，于2024年5月6日收到国标委原则同意，正式进入立项程序。

4.3 起草阶段：

在先导微电子标准项目工作组的带领下，对之前形成的初步草案进行了进一步修订和完善，最终于2024年7月份完成了一份较为成熟的工作组讨论稿。

2024年11月21日，标委会秘书处在四川乐山组织召开《激光器外延芯片用砷化镓衬底》标准初次评审会，来自大庆溢泰半导体、云南大学、峨眉山嘉美、安徽光智、

苏州纳维、北京大学东莞光电研究院、武汉拓材等 企事业单位的专家参与评审并对文本提出修改意见。

先导微电子标准项目工作组组织技术团队对初次评审意见进行系统梳理，形成修订草案后及时反馈至中国电子科技集团第十三研究所、威科赛乐、全磊光电、大庆益泰等参编单位。经本单位研发技术与质量体系团队联合论证，针对每条意见开展技术可行性和标准化合规性审查，通过多轮技术研讨形成修订方案，完成标准文本的实质性修改，形成标准征求意见稿。

4.4 征求意见阶段：

2025 年 4 月 22 日，标委会秘书处在河南洛阳组织召开《激光器外延芯片用砷化镓衬底》标准预审会，来自北京大学东莞光电研究院、中国电科十三所、松山湖材料实验室、云南锗业中镓半导体、半材标委会秘书处等企事业单位的专家参与预审，会上专家都标准文本进行了逐字逐句的讨论，并形成了修改意见。

二、标准编制原则

- 本标准按照GB/T 1.1标准化工作导则的要求进行编写。
- 充分满足国内外市场对产品质量的要求，确保供应链通用性和协调配套。
- 结合企业长期研发经验和客户反馈，保证标准的合理性和技术先进性。
- 参考相关国标、行标及SEMI标准作为重要依据。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

本标准的编制综合参考了现行国家标准《砷化镓单晶》GB/T 20228 - 2021、《LED外延用砷化镓衬底片》GB/T 30856以及其他相关行业标准，同时结合了公司在砷化镓衬底研发、生产过程中的丰富经验，以及广泛收集的客户实际应用反馈信息。

在制定过程中，通过全面深入的市场调研，密切关注行业动态，对激光器外延芯片用砷化镓衬底的技术发展趋势进行了详细分析，确保标准能够精准契合当前行业的实际需求，并具备一定的前瞻性，引领行业技术发展方向。

3.1 分类依据

在激光器外延芯片用砷化镓衬底的研究与实践中，我们发现衬底的掺杂类型对其性能有着至关重要的影响，进而成为满足不同激光器性能要求选用衬底材料的关键依据。常见的砷化镓衬底掺杂类型有掺 Si、掺 Zn 和掺 C 等分别属于n型、p型、半绝缘型，不同掺杂类型的衬底在电学性能、晶体结构稳定性以及与外延层的适配性等方面展现出显著差异。

对n型掺 Si 衬底为例，其在电学性能方面表现出特定的电阻率范围、载流子浓度以及霍尔迁移率等特性。通过对大量掺 Si 砷化镓衬底样品的实测数据统计分析发现，其电阻率通常处于 $>1 \times 10^{-3}, \leq 5.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间，载流子浓度在 $>0.8 \times 10^{18}, \leq 4.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 范围内，霍尔迁移率 $\geq 1000 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 。这种电学性能组合使得掺 Si 衬底在某些激光器应用中具有独特优势，例如在一些对载流子传输速度和电阻率稳定性要求较高的光通信激光器中，能够有效保证信号的高速稳定传输，减少信号衰减，提高调制效率。

在晶体结构稳定性方面，掺 Si 衬底经过高分辨率 X 射线衍射（XRD）检测，其晶格常数与未掺杂或其他掺杂类型的砷化镓衬底存在一定差异，这种差异会影响外延层生长时的晶格匹配程度。我们通过实验观察到，在采用分子束外延（MBE）技术在掺 Si 衬底上生长外延层时，合适的晶格匹配有助于减少外延层中的位错和应力积累，从而提高外延层的晶体质量。从实际制备的激光器外延芯片性能来看，使用符合上述电学性能和晶体结构稳定性要求的掺 Si 衬底，其阈值电流相对较低，输出功率和斜率效率较高，能够满足特定类型激光器的高性能需求。

对于p型掺 Zn 衬底，其电学性能指标为电阻率范围、载流子浓度 $>5 \times 10^{18}, \leq 50 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 和霍尔迁移率 $\geq 50, \leq 120 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 。在实际应用中，掺 Zn 衬底在某些对载流子浓度有特殊要求的激光器中发挥重要作用。例如，在一些需要较高内部增益的激光器结构中，较高的载流子浓度有助于提高光放大效果。然而，其相对较低的霍尔迁移率也意味着载流子在其中的传输速度相对较慢，这就需要在激光器设计中进行相应的优化，如调整有源区结构和电极布局等。通过对实际生产的激光器芯片测试发现，在针对这些特性进行优化设计后，使用掺 Zn 衬底的激光器在特定波长范围内能够实现较高的增益输出，满足特定的应用场景需求。

半绝缘型掺 C 衬底则具有电阻率 $>1 \times 10^7, \leq 40 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 、载流子浓度无特定要求（NONE）以及霍尔迁移率 $\geq 4000 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 的特点。实测数据显示，其较高的电阻率使得它在一些对漏电流要求极为严格的激光器应用中表现出色，能够有效减少不必要的电流损耗。同时，高霍尔迁移率有助于载流子快速传输，降低载流子在传输过程中的复合概率，提高内量子效率。在对这类衬底上制备的激光器外延芯片进行长期可靠性测试时发现，在高温、高电流密度等恶劣工作条件下，其性能稳定性优于其他掺杂类型的衬底，能够满足一些对可靠性要求极高的特殊应用场合，如航天航空、军事等领域的激光器需求。尤其是边发射和垂直腔面发射激光器（VCSEL）GaAs衬底质量的核心参数对比，通常使用半绝缘（SI-GaAs）衬底。

基于上述对不同掺杂类型砷化镓衬底的深入研究，包括电学性能实测数据、晶体结构特性分析以及实际应用于激光器外延芯片制备后的性能表现，我们确定以衬底掺杂类型作为技术要求分类的重要依据。这种分类方式能够更加精准地为不同性能要求的激光器匹配最适宜的衬底材料，从而确保激光器外延芯片在各项性能指标上达到最优，推动激光器技术在不同领域的广泛应用和持续发展。

3.2 关键技术要求确定依据

3.2.1 电学性能

1) 电阻率

在光通信领域的高速激光器中，信号传输速率要求极高，电阻率的微小变化都会对信号传输损耗产生显著影响。通过理论计算和电磁仿真分析发现，电阻率处于特定范围时，能够有效降低高频信号在激光器芯片中的传输损耗，同时提高调制效率，保证信号的高速稳定传输。例如，当电阻率低于一定值时，会导致信号衰减过快，影响通信距离和信号质量；而电阻率过高则会增加芯片的串联电阻，降低调制响应速度。

在传感器领域的激光探测应用中，电阻率与探测器的灵敏度和响应速度密切相关。基于半导体物理理论，我们建立了探测器光电响应模型，通过数值模拟研究了不同电阻率衬底对探测器性能的影响。研究表明，在一定范围内，较低的电阻率有助于提高探测器的光生载流子收集效率，从而提升灵敏度；而合适的电阻率分布还能优化探测器的响应时间，确保对快速变化的光信号进行准确探测。

综合上述理论分析、数值模拟以及实际应用反馈，经过大量的实验验证，确定n型掺Si电阻率的取值范围为 $>1 \times 10^{-3}$ ， $\leq 5.5 \times 10^{-3}$ ，半绝缘型电阻率的取值范围为 $>1 \times 10^7$ ， $\leq 40 \times 10^7$ ，能够满足光通信和传感器领域激光器外延芯片对电学性能的要求。

2) 电阻率不均匀性与载流子浓度不均匀性

电阻率不均匀性和载流子浓度不均匀性会导致激光器外延芯片在工作过程中电流分布不均匀，进而产生局部过热、发光效率降低等问题。为准确评估这两项指标对激光器性能的影响，我们采用了有限元分析方法，建立了激光器芯片的热学和电学耦合模型。

通过模拟不同不均匀性程度下芯片的工作状态，发现衬底片当不均匀性超过一定范围时，芯片内部会出现明显的温度梯度，加剧非辐射复合过程，降低内量子效率，最终影响激光器的输出功率和可靠性。在实验方面，我们制备了一系列具有不同截面电阻率和载流子浓度不均匀性的衬底样品，并在其上生长激光器外延结构，进行光电性能测试。

测试结果与模拟分析结果高度吻合，进一步验证了控制截面电阻率不均匀性和载流子浓度不均匀性的重要性。结合实验数据和模拟结果，确定了截面电阻率不均匀性和截面载流子浓度不均匀性的上限值均为 $\leq 15\%$ ，以确保激光器外延芯片的均匀性和稳定性。

3) 霍尔迁移率

霍尔迁移率是反映载流子在电场作用下运动难易程度的重要参数，它直接影响激光器中载流子的输运特性和复合过程。较高的霍尔迁移率有助于载流子在有源区内快速传输，减少载流子在非有源区的复合损耗，从而提高激光器的内量子效率和斜率效率。

通过对不同霍尔迁移率的砷化镓衬底进行激光器外延生长和性能测试，发现当霍尔迁移率低于一定值时，激光器的阈值电流会显著增加，输出功率和效率明显下降。基于大量的实验数据统计分析，结合对应的客户订单类型，确定掺Si衬底片的霍尔迁移率应 $\geq 1000 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，掺Zn衬底片的霍尔迁移率范围为 $\geq 50, \leq 120 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，掺C衬底片的霍尔迁移率 $\geq 4000 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，以保证激光器具有良好的性能表现。

3.2.2 表面晶向及晶向偏离

激光器外延生长通常需要在特定的晶面上进行，以确保外延层与衬底之间具有良好的晶格匹配和界面稳定性。(100)晶面是激光器外延生长常用的晶面之一，其晶向偏离会影响外延层的晶体质量和生长取向。

通过分子束外延(MBE)和金属有机化学气相沉积(MOCVD)等外延生长技术，在不同晶向偏离的(100)砷化镓衬底上生长外延层，并利用XRD、透射电子显微镜(TEM)等手段对生长后的外延层进行表征分析。研究发现，晶向偏离过大时，外延层与衬底之间的晶格失配度增加，会导致外延层中产生大量的位错和应力，严重影响激光器的性能。

综合考虑外延生长工艺的要求和激光器性能的稳定性，确定衬底片的表面晶向为(100)晶面，其晶向偏离主要包括(100)偏 $\langle 111 \rangle$ n型 $0^\circ, 2^\circ, 6^\circ, 10^\circ, 15^\circ \pm 0.5^\circ$ 、p型 $0^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 15^\circ \pm 0.5^\circ$ 、半绝缘型 $0^\circ, 2^\circ \pm 0.5^\circ$ 等常见类型等。对于有特殊晶向要求的应用场景，可由供需双方协商确定，并在订货单中注明。

3.2.3 位错密度

位错作为晶体中的线缺陷，在砷化镓衬底中会成为非辐射复合中心，严重影响载流子的寿命和复合过程，进而降低激光器的内量子效率和发光效率。此外，位错还会在外延生长过程中作为缺陷源，诱导外延层中产生更多的缺陷，影响外延层的晶体质量和界面平整度。

借助高分辨率X射线衍射技术(HR-XRD)、扫描电子显微镜(SEM)等先进检测手段，对不同生长工艺和位错密度的砷化镓衬底进行全面的微观结构表征和统计分析。同时，

参编外延厂商也开展了长期可靠性试验，观察位错密度对激光器在长时间工作过程中的性能稳定性的影响。

实验结果表明，随着位错密度的增加，激光器的阈值电流逐渐升高，输出功率和斜率效率明显下降，并且在长期工作过程中更容易出现性能退化和失效现象。

经过显微图像（EPD）扫描仪对量产订单的大量检测和数据分析，结合实际不同掺杂类型客户订单的位错密度规格要求，确定了不同直径衬底片在掺Si、掺Zn和掺C情况下的位错密度上限值，以保证激光器外延芯片的高质量生长和长期可靠性。

3.3 试验方法确定依据

在确定各项关键技术指标的试验方法时，充分考虑了行业内的标准规范和实际操作的可行性，选用了国际公认、行业广泛应用的检测设备和成熟的测试方法，确保测试结果的准确性、可靠性和可比性。

3.3.1 电学性能检测

1) 电阻率和载流子浓度的检测采用GB/T 4326规定的方法，该方法基于范德堡测量原理，通过测量样品在不同电极配置下的电阻值，利用特定的计算公式得到电阻率和载流子浓度。这种方法具有测量精度高、适用范围广等优点，能够准确反映砷化镓衬底的电学特性。

2) 电阻率不均匀性的测试，按照本标准规定的方法，在单晶横截面沿直径方向均匀取5个测试点（中心1点，左右各2点），通过计算各点电阻率的差异来评估截面电阻率的均匀性。该方法能够全面反映衬底在横截面上的电学性能分布情况，为判断衬底质量提供重要依据。

3) 霍尔迁移率的检测同样依据GB/T 4326，采用霍尔效应测量原理，通过施加磁场和电流，测量样品在磁场作用下产生的霍尔电压，进而计算出霍尔迁移率。这种方法是研究半导体材料载流子输运特性的经典方法，能够准确获取砷化镓衬底的霍尔迁移率参数。

在进行电学性能检测时，严格控制测量环境条件，如将温度稳定在 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，湿度控制在 $45\% \pm 5\%$ ，以减少环境因素对测量结果的影响。同时，对测试设备进行定期校准和维护，确保设备的准确性和稳定性。操作人员均经过专业培训，严格按照操作规程进行测试，保证测量过程的规范性和重复性。

3.3.2 晶体结构相关检测

1) 衬底片表面晶向及晶向偏离的测量采用GB/T 1555规定的方法，通常利用X射线衍射技术，通过测量晶体对X射线的衍射角度来确定晶向和晶向偏离度。这种方法具有高精度、非破坏性等优点，能够准确获取衬底的晶体取向信息。

2) 位错密度的检测按照GB/T 8760规定的方法进行，主要采用腐蚀坑法或X射线双晶衍射法。腐蚀坑法通过对样品表面进行腐蚀处理，使位错在表面形成腐蚀坑，然后利用光学显微镜或扫描电子显微镜观察和统计腐蚀坑的数量和分布，从而计算位错密度；X射线双晶衍射法则是根据位错引起的晶格畸变对X射线衍射峰的影响来间接测量位错密度。这两种方法在行业内应用广泛，能够准确评估砷化镓衬底的位错密度水平。

3.4 标准验证情况

为全面验证标准内容的合理性和可行性，我们精心组织了一次大规模的标准验证实验。选取了来自不同生产厂家的砷化镓衬底样品，这些样品涵盖了目前市场上常见的各种生长方法、不同掺杂类型以及多种规格尺寸，具有广泛的代表性，能够全面反映行业内产品的实际情况。

在实验过程中，严格按照拟定的标准草案规定的试验方法和检验流程，对每个样品的各项技术指标进行了全面、细致的检测。检测过程中，使用了高精度的专业检测设备，并确保设备处于最佳工作状态，环境条件严格控制在标准规定范围内。检测人员均具备丰富的专业经验，严格按照操作规程进行操作，确保检测数据的准确性和可靠性。

在完成对衬底样品的标准检测后，将这些样品用于实际的激光器外延芯片生产过程中，并对生产过程中的关键工艺参数和外延芯片的最终性能进行了全程跟踪监测。重点关注了那些在标准检测中某些指标处于临界值附近的样品，详细记录了它们在外延生长过程中的成膜质量、界面平整度、晶体缺陷情况，以及最终激光器的光电性能参数，如阈值电流、输出功率、斜率效率、光谱特性等。

通过对大量实验数据的深入统计分析和综合对比，发现当衬底样品符合本标准所规定的各项技术要求时，激光器外延芯片的生长过程更加稳定，成膜质量显著提高，界面平整度得到有效改善，晶体缺陷明显减少。在光电性能方面，激光器的阈值电流显著降低，输出功率和斜率效率大幅提高，光谱特性更加优异，并且在长期工作过程中表现出良好的性能稳定性和可靠性。

相反，对于那些不符合标准要求的衬底样品，在激光器外延芯片生产过程中容易出现各种问题，如外延层生长不均匀、界面缺陷增多、晶体质量下降等，导致最终激光器的性能较差，良品率明显降低。

通过本次全面系统的标准验证实验，充分证明了本标准所规定的技术要求和试验方法的科学性、合理性和实用性。标准内容能够准确反映激光器外延芯片用砷化镓衬底的关键质量特性，为行业内的生产、检验和质量评价提供了可靠的技术依据和规范指导，有助于提高整个行业的产品质量和技术水平，推动激光器产业的健康发展。

3.5 标准先进性情况

激光器用外延芯片用砷化镓单晶衬底，尤其是边发射和垂直腔面发射激光器VCSEL）GaAs衬底质量的核心参数对比，通常使用半绝缘型（掺C）衬底。以下是本标准半绝缘型（掺C）衬底与国际先进水平对比：

性能指标	国际先进水平	本标准	说明
晶圆尺寸	100mm、150mm、200mm	50.8mm、76.2mm、100mm、150mm、200mm	相当
电阻率	$> 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$	$> 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$	相当
电阻率不均匀性	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$	相当
载流子浓度不均匀性	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$	相当
位错密度（EPD）	$< 5000 \text{ cm}^{-2}$	$< 5000 \text{ cm}^{-2}$	以直径 150mm 为例，相当
霍尔迁移率	$> 5500 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$	$> 4000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$	尚有细微差距
表面粗糙度	$R_a < 0.2 \text{ nm}$	$R_a < 0.3 \text{ nm}$	表面质量稍逊于国际最佳水平
晶向偏角	$(100) \pm 0.1^\circ$	$(100) \pm 0.1^\circ$	相当
总厚度变化(TTV) μm	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$	以直径 150mm（P-E）为例，与国际标准一致
弯曲度(Bow) μm	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$	以直径 150mm（P-E）为例，与国际标准一致

为促进国内高端砷化镓单晶衬底的发展，推动半导体行业上游关键材料的国产化进程，降低对国外产品依赖。本标准技术指标要求已经达到或接近国际先进水平，特别是在主流产品 4 英寸、6 英寸半绝缘型衬底的关键参数上，我们建议将本标准定位为国际先进水平。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益等情况

随着本标准的制定与推广，将有助于推动和引导砷化镓晶体及衬底片技术的发展，促进激光器的应用与发展，确保供应链中的通用性和协调配套。该标准具有科学性、合理性、适用性和先进性，有望促进相关产品及检验试验标准的修订或制定。

六、采用国际标准和国外标准的情况

暂无。

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

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。

八、重大分歧意见的处理和依据

暂无。

九、标准性质的建议说明

建议本标准作为国家推荐性标准发布实施。

十、贯彻标准的要求和措施建议

10.1 组织措施

1) 成立标准实施工作组：由广东先导微电子科技有限公司牵头，联合相关单位成立标准实施工作组，负责标准的宣传、培训、监督和技术支持。

2) 建立反馈机制：设立专门的反馈渠道，收集各方对标准实施过程中遇到的问题和建议，及时进行调整和优化。

3) 加强合作与交流：鼓励国内外相关企业和研究机构参与标准的实施工作，通过定期举办研讨会、技术交流会等形式，促进经验分享和技术提升。

10.2 技术措施

1) 技术培训：组织系列技术培训班，邀请行业专家和技术骨干授课，提高从业人员对标准的理解和执行能力。

2) 技术支持：提供详细的技术指导手册和操作指南，帮助生产企业掌握关键技术要点，确保产品质量符合标准要求。

3) 检测设备升级：推动企业更新和完善检测设备，采用先进的检测仪器和方法，提高检测精度和效率。

4) 研发支持：鼓励和支持相关企业加大研发投入，开展新产品开发和技术改进，不断提升产品的技术水平和市场竞争力。

10.3 过渡性安排

1) 试点示范：选择部分具有代表性的企业作为试点单位，先行实施标准，积累经验后再逐步推广至全行业。

2) 过渡期政策：设定合理的过渡期，在此期间内给予企业一定的调整时间，逐步达到标准要求。

3) 评估与调整：在过渡期内定期评估标准的实施效果，根据实际情况适时调整和完善标准内容，确保其科学性和可操作性。

十一、废止

暂无。

十二、其他

12.1 标准的修订与更新

本标准将根据技术进步和市场发展的需要定期进行审查和修订。任何修订建议应通过正式渠道提交给标委会，并由相关专家进行评审。修订过程将遵循透明和公开的原则，确保所有利益相关者有机会参与讨论和提供意见。

12.2 国际合作与交流

鼓励国内外相关机构和企业参与本标准的实施和应用，通过国际合作与交流，共同推动激光器外延芯片用砷化镓衬底技术的发展。为了便于国际合作和推广，本标准同时编写英文版。

12.3 宣传与培训

为了促进本标准的广泛采用，将组织系列宣传活动和技术培训课程，提高行业从业人员对新标准的认识和理解。

12.4 反馈机制

建立标准实施的反馈机制，鼓励用户和利益相关者就标准的应用情况提供意见和建议，以便不断完善和优化标准内容。

12.5 联系方式

对于本标准有任何疑问或需要进一步信息，请联系 广东先导微电子科技有限公司，地址：中国广东省清远市高新区创兴三路 16 号 A 车间，电话：15816243006，电子邮箱：aibin.luo@vitalchem.com。

《激光器外延芯片用砷化镓衬底》编制组

2025 年 9 月