

# 《声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法》团体标准编制说明

## 一、工作简况

### (一) 任务来源

本团体标准是在国家重点研发计划项目及相关横向科研项目持续支持下提出的。相关项目既包括面向铌酸锂薄膜及其器件应用的国家级科研任务，也包括围绕声表面波器件、薄膜材料及相关机理研究开展的横向课题，形成了较为系统的技术积累和工程需求基础。相关项目信息如下：

1. 高 Q 铌酸锂单晶薄膜及温压一体式 MEMS 传感器研制，国家重点研发计划项目，项目编号：SQ2024YFB3200422，2024 年至 2027 年，500 万，在研。

2. 基于 SiO<sub>2</sub> 薄膜的 TCSAW 器件频率温漂影响机理研究，横向课题，合同编号：11250011002501，2024 年至 2025 年，24.8 万，在研。

3. 外场条件下铌酸锂晶体电极化响应规律及影响机制，横向课题，合同编号：1250025005，2025 年至 2030 年，10 万，在研。

4. 铌酸锂晶体电极化响应特性研究，横向课题，合同编号：1250025006，2025 年至 2026 年，26 万，结题。

上述项目涵盖了硅基铌酸锂单晶薄膜材料、生表面波器件、相关机理研究及应用开发等多个方向，为本标准的提出和指定提

供了技术支撑与实践基础。

## （二）主要工作过程

### 1. 前期调研与需求分析阶段

近年来，随着 5G/6G 移动通信、卫星通信、物联网及射频前端技术的快速发展，声表面波（SAW）器件正朝着高频化、小型化、高性能和高集成化方向不断发展，对关键功能材料的性能一致性和制造质量提出了更高要求。特别是在移动通信、无线连接、雷达探测、卫星导航及先进电子信息系统等领域，高性能声学器件已成为实现信号处理、频率选择和无线通信功能的重要基础元件，其性能水平直接影响相关系统的稳定性、可靠性和综合性能。随着器件研发和制造逐步向晶圆级、批量化方向发展，建立面向晶圆片的统一测试与评价方法已成为产业发展和质量控制的现实需求。

铌酸锂是一种重要的压电功能晶体材料，具有高机电耦合系数、优异的压电特性以及良好的高频声学性能，在声表面波器件领域具有显著优势。随着微纳加工技术和异质集成技术的快速发展，硅基铌酸锂单晶薄膜凭借其优异的压电性能、良好的硅基工艺兼容性以及晶圆级制造优势，已成为新一代高性能声表面波器件的重要基础材料，广泛应用于高频滤波器、谐振器及其他集成声学器件的研发与制造。围绕硅基铌酸锂单晶薄膜材料制备、器件设计、工艺开发和应用验证的相关科研与工程项目持续增多，进一步凸显了统一测试方法的必要性。

铌酸锂单晶薄膜厚度、上表面粗糙度及中心谐振频率、声表面波速度、品质因数等声学功能参数的片内均匀性，直接影响声表面波器件的谐振响应特性、器件一致性和产品良率。随着产业规模的不断扩大和产品性能要求的持续提升，建立科学、统一、规范的片内均匀性抽样测试方法，对产品质量评价、生产过程控制以及产业标准化发展具有重要意义。当前，不同科研机构和企业 在抽样方式、布点方法、测试参数选择和数据处理方法等方面仍存在差异，缺乏统一规范，制约了测试结果的可比性、上下游协同和工程化推广。

因此，制定《声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法》团体标准，有助于建立统一的抽样、布点、测试、数据处理与评价方法，完善该领域片内均匀性测试方法方面的标准体系，提升硅基铌酸锂单晶薄膜及其相关声学器件研发和制造过程中的质量控制和一致性评价水平，促进相关材料与器件产业链协同发展，并为我国高端声学器件产业的规范化、工程化发展提供支撑。

## 2.成立标准编制起草组

由山东大学、厦门大学、济南晶正电子科技有限公司、青岛芯笙微纳电子科技有限公司、济南先进动力研究所、中国电子科技集团公司第二十六研究所、中电科技德清华莹电子有限公司、华东光电集成器件研究所联合提出并开展《声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法》团体标准的制定工作，

旨在通过建立统一的抽样测试框架和评价方法，为硅基铌酸锂单晶薄膜的性能评价、质量控制和工程应用提供科学、规范的测量依据。

### 3.标准起草形成阶段

2025年3月，由山东大学牵头组织对标准要求与框架进行确认，并在内部研讨和多方交流基础上形成标准草案初稿。初稿围绕“声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性评价”这一核心目标，初步提出了批次抽样、片内均匀布点、结构性与功能性参数测试以及统一数据处理与评价的方法框架。

在起草过程中，编制组系统参考了现行相关国家标准和团体标准，包括 GB/T 30118-2013《声表面波(SAW)器件用单晶晶片规范与测量方法》、GB/T 8170-2008《数值修约规则与极限数值的表示与判定》、T/CECA 69-2022《声表面波器件用单晶薄膜基片》、GB/T 40279-2021《硅片表面薄膜厚度的测试 光学反射法》、GB/T 29505-2013《硅片平坦表面的表面粗糙度测量方法》和 GB/T 46611—2025《电光调制器用铌酸锂单晶薄膜》等，对抽样方法、布点方法、测试项目、测试步骤、数据处理和均匀性评价方法进行了系统论证，并结合相关样品和测试条件开展了方法验证。

### 4.标准修改阶段

2026年1月30日，山东科技咨询协会在山东省济南市组织召开立项评审会。会后，标准起草组根据专家提出的意见和建议，对标准名称、适用范围、标准定位、抽样与布点方法、测试

项目整体设置及整体框架等内容进行了系统研究和修改完善。

结合评审意见，起草组进一步明确了标准适用对象和应用领域，突出声表面波器件用和片内均匀性抽样测试方法的定位。同时，对测试对象进行了收敛，删除与标准定位不一致的内容，将结构性测试聚焦于铌酸锂薄膜厚度和上表面粗糙度，将功能性测试聚焦于中心谐振频率、声表面波速度和品质因数，并形成了与不同直径晶圆片相适应的均匀布点方法及其编号规则。标准文本经多轮讨论和修改后，形成了当前较为完善的征求意见稿，并将标准名称修改为《声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法》。

## 二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

### （一）标准编制原则

本标准的制定遵循科学性、实用性、合理性、可操作性、统一性、可对比性以及适度先进性的原则，按照 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》的要求进行编写。编制过程中，充分结合了硅基铌酸锂单晶薄膜材料研发、声表面波器件设计制造和工程应用中的实际测试需求，力求使标准内容既具备规范性，又具有工程可实施性。具体遵循以下原则：

1. 科学性原则。以现有成熟测试原理和相关标准为基础，结合硅基铌酸锂单晶薄膜及其声表面波器件应用特点，确定抽样、布点、测试和评价方法。
2. 实用性原则。结合当前科研和产业实际测试条件，选择

具有代表性、可测量性和工程意义的测试项目。

3. 统一性与可比性原则。通过统一抽样要求、均匀布点方式、测试方法、数据处理和评价口径，提高不同单位之间测试结果的可比性。

4. 可操作性原则。充分考虑现有测试设备、样品条件和工艺实际，使标准具备可实施性和可推广性。

5. 适度先进性原则。在吸收现有标准成熟做法的基础上，针对声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性测试需求进行了必要的补充和细化。

## （二）主要内容

本标准围绕声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性评价需求，主要包括以下内容：

### 1. 明确适用范围和规范性引用文件

本标准明确了使用对象为声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜晶圆片，规定了适用尺寸范围、典型结构和主要切型，并在充分参考现有国家标准和团体标准的基础上，选取与本文件密切相关的规范性引用文件，为标准的技术内容提供支撑。

### 2. 完善术语和定义体系

围绕片内均匀性评价需求，明确规定了硅基铌酸锂单晶薄膜、均匀布点法、铌酸锂薄膜厚度、上表面粗糙度、声表面波速度、品质因数和片内均匀性等关键术语与定义，在吸收相关标准已有术语的基础上进行了针对性补充和细化。

### 3. 明确抽样与布点要求

针对硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性测试，规定了按批次抽样的基本要求，以及对抽取样品进行片内均匀布点时的布点原则、边缘去除区、稳定质量区、点位编号与记录要求，并针对不同直径晶圆片给出了相应的均匀布点方式。

#### 4.规范测试项目与测试方法

本标准规定了铌酸锂薄膜厚度、上表面粗糙度、中心谐振频率、声表面波速度和品质因数等测试项目的测试原理、测试步骤、测试要求和结果记录方法。其中，结构性测试聚焦于铌酸锂薄膜本体的几何与表面特征，功能性测试聚焦于声表面波器件相关声学功能参数。

#### 5.统一数据处理方法、均匀性评价标准和测试报告要求

本标准统一了测试数据的处理方法和片内均匀性评价方法，采用归一化标准偏差作为均匀性评价指标，并规定了测试报告应包含的基本内容，以提高测试结果的规范性、可比性和可追溯性。

#### （三）确定主要内容的依据

本标准技术内容的确定建立在相关科研项目、工程实践和测试验证基础之上，综合考虑了声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜的结构特性、工艺条件、器件应用需求以及现有测试技术水平。

关于抽样与均匀布点方法，考虑到不同直径晶圆片在有效测试区域范围、边缘去除区宽度以及片内均匀性评价分辨率方面存在差异，本标准未采用固定点数的单一布点方案，而是根据晶圆片尺寸和片内均匀性评价需求，提出了适用于不同直径样品的均匀布点法，并配套规定了点位编号规则。

关于测试项目设置，本标准围绕片内均匀性评价需求，选取了能够反映材料本体特征和器件相关声学功能特征的代表性项目。其中，结构性测试包括铌酸锂薄膜厚度和上表面粗糙度；功能性测试包括中心谐振频率、声表面波速度和品质因数。未将总厚度、SiO<sub>2</sub>层厚度等项目纳入正文测试内容，以保持标准对象和测试目标的一致性。

关于均匀性评价方法，本标准采用基于平均值归一化后的标准偏差作为均匀性评价指标，以实现不同测试项目在统一统计框架下的片内均匀性表征。该方法能够较好反映同一晶圆片内各测试点数据围绕整体平均水平的离散程度，便于结果比较和工程应用。

关于测试方法来源，本标准在测试原理和通用方法上充分参考了现行国家标准和团体标准，并结合声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜的对象特征进行了适应性调整和必要细化，确保技术内容科学合理、层次清晰、具有较强可操作性。

### **三、试验（或验证）的分析报告、技术经济论证以及预期效益**

本标准所规定的主要测试项目包括结构性测试和功能性测试两类。结构性测试包括铌酸锂薄膜厚度测试和上表面粗糙度测试；功能性测试包括中心谐振频率测试、声表面波速度测试和品质因数测试。围绕上述测试项目，标准起草组结合相关科研项目、工程样品和实际测试条件，对本标准所涉及的抽样方式、均匀布点方法、测试流程、数据处理方法及均匀性评价方法开展了验证

和分析。

在方法验证方面，牵头起草单位山东大学联合济南晶正电子科技有限公司等参与单位，针对不同直径硅基铌酸锂单晶薄膜晶圆片的片内均匀性测试需求，重点对以下内容进行了验证：

1. 按批次抽样方式开展片内均匀性测试的可执行性和代表性；
2. 不同直径晶圆片采用均匀布点法进行片内布点的适用性；
3. 铌酸锂薄膜厚度、上表面粗糙度、中心谐振频率、声表面波速度和品质因数等测试项目在本标准规定条件下的可操作性；
4. 基于平均值归一化和标准偏差计算的片内均匀性评价方法在不同测试项目中的适用性和一致性。

验证结果表明，本标准所提出的抽样与布点方法能够较好覆盖不同尺寸晶圆片的有效测试区域，所规定的测试流程与测试条件能够满足结构性和功能性参数的片内均匀性测试需求，所采用的数据处理与均匀性评价方法能够较稳定地反映同一晶圆片内各测试点结果的离散程度，具有较好的可操作性、重复性和工程适用性。相关验证工作为本标准主要技术内容的确定提供了支撑。

从技术经济角度分析，本标准的实施有助于统一声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性测试的方法和口径，减少不同单位之间因抽样方式、布点规则、测试步骤和评价方法不一致而造成的测试结果偏差，提高测试结果的可比性和可追溯性，降低重复验证和沟通成本。对于材料研发单位、器件制造单位和应

用单位而言，本标准可为样品质量评价、过程控制和一致性分析提供统一依据，具有较好的技术经济合理性。

从预期效益看，本标准的制定和实施将有助于提升硅基铌酸锂单晶薄膜及其相关声表面波器件研发和制造过程中的测试规范化水平，促进片内均匀性评价方法的统一，提高上下游单位之间测试结果的一致性和协同性，并为相关材料和器件的工程化应用、质量控制及后续标准化工作提供支撑。

#### **四、与现行相关法律、法规及相关标准的关系**

本标准符合《中华人民共和国标准化法》等相关法律法规的有关规定，未与现行强制性国家标准相冲突。本标准与现有相关国家标准和团体标准在基础测试原理和通用方法上保持协调一致，同时针对声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试这一具体对象和应用需求进行了补充和细化。其中，本标准与 GB/T 30118—2013《声表面波（SAW）器件用单晶晶片规范与测量方法》、T/CECA 69—2022《声表面波器件用单晶薄膜基片》在适用对象、相关术语及测试背景方面相协调；与 GB/T 40279—2021《硅片表面薄膜厚度的测试 光学反射法》、GB/T 29505—2013《硅片平坦表面的表面粗糙度测量方法》在相关测试方法方面相协调；与 GB/T 46611—2025《电光调制器用铌酸锂单晶薄膜》在铌酸锂单晶薄膜对象、晶圆级测试思路及相关技术基础方面具有一定关联，但本标准聚焦于声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法，标准定位不同于现有产品类标准。本标准在功能性测试部分，对基于硅基铌酸锂单晶

薄膜制备的声表面波器件测试样品提出了相应制备要求，并通过矢量网络分析仪测试器件响应参数，用于中心谐振频率、声表面波传播速度和品质因数等项目的测量与评价。相关规定属于本标准测试方法体系的组成部分，不改变现有相关标准的适用范围和定位。

## **五、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况**

### **（一）采用国际标准及国外先进标准情况**

经调研，目前尚无发现与本标准在适用对象和技术内容上完全对应的国际标准或国外先进标准。本标准在通用测试原理和国际通行做法保持一致，技术路线综合合理。

### **（二）与国际标准及国外先进标准对比分析**

本标准在编制过程中，充分研究并参考了相关国际通行测试方法及国外公开技术资料。总体来看，国际上在薄膜厚度测量、表面粗糙度测量以及基于器件电学、光学响应获取相关声学参数等方面，已经形成了较为成熟的基础测试原理和通用方法，这些内容为本标准的制定提供了重要参考。与此同时，针对声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法这一特定对象和应用需求，目前尚未发现与本标准在适用范围、技术内容和方法体系上完全对应的国际标准或国外先进标准。

1. 本标准在基础测试原理和通用方法层面，与国际通行做法保持一致，确保了标准技术基础的科学性和结果的可比性。例

如，铌酸锂薄膜厚度测试所采用的光学反射法、上表面粗糙度测试所依据的通用表面形貌测量方法，以及通过器件电学响应获取中心谐振频率、声表面波速度和品质因数的思路，均与国际上相关领域的常见做法相协调。因此，本标准是在吸收成熟测试原理基础上的方法整合与对象适配。

2. 本标准的特点在于，其并非针对一般薄膜材料或一般声学器件，而是面向声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜晶圆片这一具体对象，围绕片内均匀性这一核心需求建立了完整的方法体系。与国际上现有更偏重单项测试原理、单一参数测量或产品规范要求的相关技术文件相比，本标准进一步将批次抽样、片内均匀布点、测试点编号、结构性参数测试、功能性参数测试、统一数据处理以及均匀性评价有机结合起来，形成了较为完整的专项测试方法框架。这一特点决定了本标准并不是对现有通用测试方法的简单重复，而是面向特定对象和工程需求所做的系统化补充。

3. 本标准在片内均匀性这一评价维度上具有较强的针对性。随着声表面波器件向高频化、小型化和晶圆级制造方向发展，材料和器件的一致性评价需求不断增强。国际上已有的一些通用测试方法，更多关注单点参数测量或单项性能表征，而对于如何在晶圆片层面开展批次抽样、如何根据不同直径样品进行均匀布点、如何统一点位编号和测试结果的统计评价方法，尚缺乏与本标准对象完全对应的公开标准文本。本标准正是在这一背景下，结合国内研发和工程应用实际，对片内均匀性抽样测试方法作出了明确规定。

4. 本标准在可操作性和工程适用性方面进行了有针对性的细化。标准不仅规定了测试项目和测试方法，还根据不同直径晶圆片的特点，提出了相应的均匀布点方式、边缘去除区宽度及点位编号规则，并采用统一的数据处理和均匀性评价方法，以提高不同单位之间测试结果的可比性和可追溯性。这种面向工程实施的细化处理，是本标准相较于一般通用测试方法文件的重要特点之一。

综上所述，本标准在基础测试原理上与国际通行做法保持协调一致，在适用对象、抽样与布点要求、片内均匀性评价方法和工程实施细节方面则进行了针对性补充和完善。其主要价值不在于替代现有国际或国外通用标准，而在于面向声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜这一特定对象，建立一套较完整、较统一、具有工程可操作性的片内均匀性抽样测试方法，为相关领域的研发、制造和质量评价提供标准化依据。

## **六、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明**

经核查，目前尚未发现本标准所涉及的技术内容与已知专利构成直接、不可替代的依赖关系。本标准的制定和实施不涉及专利许可要求。如在标准实施过程中采用的具体设备、工艺或技术方案涉及第三方知识产权，相关单位应依法自行处理。本标准发布机构和归口单位不承担识别全部专利的责任。

## **七、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据**

本标准在形成征求意见稿过程中，未出现重大分歧意见。对于标准名称、适用范围、测试项目取舍、布点方法和评价方法等

问题，起草组通过多轮讨论和专家意见吸收，形成了一致意见。

## 八、实施标准的要求以及相关措施建议

为保证本标准的有效实施，建议从测试能力建设、标准宣贯推广、实施反馈与动态维护等方面采取相应措施，以提高标准实施的一致性、规范性和可操作性。

### （一）实施标准的基本技术要求

#### 1. 测试能力建设要求

实施单位应建立或完善与本标准要求相适应的测试条件和测量体系。测试所用设备应满足相应测试项目的量程、分辨力和准确度要求，并处于有效的检定、校准或计量确认状态。实施单位应具备开展铌酸锂薄膜厚度、上表面粗糙度、中心谐振频率、声表面波速度和品质因数等测试项目所需的基本设备条件和配套条件。

#### 2. 人员能力要求

测试人员应经过必要的技术培训，熟悉本标准规定的抽样、布点、测试、数据处理和均匀性评价方法，能够正确完成测试操作、数据记录和异常情况处理。

#### 3. 测试流程执行要求

实施单位应按照本标准规定的要求开展测试，重点保证批次抽样、均匀布点、测试条件控制、测试步骤执行、原始数据记录和均匀性评价方法的一致性。对于功能性测试项目，还应确保测试样品制备和 IDT 结构满足标准要求。

#### 4. 数据与报告规范性要求

测试结果应真实、准确、完整，原始数据、测试条件、布点信息、替代测试点情况及均匀性评价结果应记录完整，并按本标准规定形成测试报告，以保证测试结果的可追溯性和可比性。

## （二）推动标准实施的措施建议

### 1. 加强标准宣贯与培训

建议由归口单位、起草单位或相关行业组织面向科研院所、企业和检测机构开展标准宣贯和技术培训，帮助有关单位准确理解标准的适用范围、抽样要求、均匀布点方法、测试项目及评价方法。

### 2. 开展方法验证与应用示范

建议结合不同尺寸晶圆片和不同测试项目，持续开展方法验证和应用示范，进一步积累标准实施经验，为后续优化完善标准内容提供依据。

### 3. 推动上下游协同应用

建议在材料研发单位、器件制造单位及相关应用单位之间推广本标准，逐步形成相对统一的测试口径和评价方法，提高测试结果的一致性和上下游协同效率。

### 4. 建立实施反馈机制

建议归口单位和起草单位在标准实施过程中持续收集实施反馈，对抽样比例、布点方法、测试流程和评价方法等内容的适用性进行跟踪分析，为标准后续复审和修订提供依据。

## （三）标准动态维护建议

随着硅基铌酸锂单晶薄膜材料制备水平、声表面波器件结构

形式和相关测试技术的不断发展，建议结合标准实施情况和产业应用需求，适时组织对本标准进行复审和修订，不断提高标准的适用性、先进性和可操作性。

## 九、其他应当说明的事项

1. 本标准由山东科技咨询协会归口。

2. 本标准由《声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜片内均匀性抽样测试方法》团体标准起草组负责技术内容的起草和相关说明。

3. 本标准可为声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜的研发、质量控制和一致性评价提供技术依据，但不等同于产品认证、质量保证或验收文件。

4. 本标准在实施过程中，如有关单位对技术条款的理解或应用存在疑问，或对标准内容有修改完善建议，可及时向归口单位和起草组反馈，以便在后续复审和修订中统筹考虑

5. 本标准实施过程中，如采用的具体设备、工艺或技术方案涉及第三方知识产权，相关方应依法自行处理。

《声表面波器件用硅基铌酸锂单晶薄膜  
片内均匀性抽样测试方法》

团体标准起草组

2026年6月12日