

ICS 91.140.70  
Q 31



# ZZB

## 浙江 制造 团体 标准

T/ZZB 0497—2018

### 声表面波器件用单晶晶片

Single crystal wafers for surface acoustic wave device applications

ZHEJIANG MADE

2018 - 08 - 31 发布

2018 - 09 - 30 实施

浙江省品牌建设联合会 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	2
5 产品要求 .....	3
6 试验方法 .....	6
7 检验规则 .....	8
8 标志、包装、运输和储存 .....	9
9 质量承诺 .....	10
附录 A (规范性附录) 压电单晶的欧拉角表示法 .....	11
附录 B (资料性附录) SAW 晶片制作工艺 .....	14
附录 C (规范性附录) 测量方法 .....	19

ZHEJIANG MADE

## 前 言

本标准依据GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由浙江省品牌建设联合会提出并归口。

本标准由浙江方圆检测集团股份有限公司牵头组织制定。

本标准主要起草单位：中电科技德清华莹电子有限公司。

本标准参与起草单位：浙江方圆检测集团股份有限公司、中国电科第二十六研究所、北京航天微电子科技有限公司（排名不分先后）。

本标准主要起草人：卢明达、黄顺民、李勇、岳高东、崔坤、贝伟斌、胡少勤、史向龙、杭州明、杨攀、朱卫俊、宋松、林毅、施旭霞。

本标准由浙江方圆检测集团股份有限公司负责解释。

ZHEJIANG MADE

# 声表面波器件用单晶晶片

## 1 范围

本标准规定了单晶晶片的术语和定义、基本要求、产品要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存、质量承诺。

本标准适用于人造石英（QZ）、铌酸锂（LN）、钽酸锂（LT）、四硼酸锂（LBO）和硅酸镓镧（LGS）等单晶晶片。这些单晶晶片用作声表面波（SAW）器件的基片材料。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3352 人造石英晶体——规范与使用指南（MOD，IEC 60758:2004）

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：可接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划（IDT，ISO 2859-1:1999）

GB/T 30118—2013 声表面波（SAW）器件用单晶晶片——规范与测量方法

YS/T 554—2007 铌酸锂单晶

IEC 62276:2016-10 声表面波（SAW）器件用单晶晶片——规范与测量方法

## 3 术语和定义

GB/T3352、GB/T 30118—2013中界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1 LN 和 LT 晶体的术语和定义

#### 3.1.1

**还原处理** reduction process

通过还原反应增加导电性以减少热释电效应引起的损伤。

#### 3.1.2

**还原铌酸锂** reduced LN

还原处理过的LN。

注：还原铌酸锂有时称为“黑铌酸锂（black LN）”。

#### 3.1.3

**还原钽酸锂** reduced LT

还原处理过的LT。

注：还原钽酸锂有时称为“黑钽酸锂（black LT）”。

## 4 基本要求

### 4.1 设计研发

企业应具有钽酸锂、钽酸锂单晶晶片配方开发能力。

### 4.2 原材料

#### 4.2.1 人造石英晶体

用Z切向角度偏差在 $+5^\circ$  以内的籽晶生长的人造石英晶体，且晶片不含-X方向生长区。按GB/T 3352，人造石英晶体的品质应满足或优于下面的等级：

- 红外吸收系数  $\alpha$  值：D 级；
- 包裹体密度（个/ $\text{cm}^3$ ）：II 级；
- 腐蚀隧道密度（条/ $\text{cm}^2$ ）：2 级。

#### 4.2.2 钽酸锂晶体

具有规定范围居里温度的单畴晶体。

#### 4.2.3 钽酸锂晶体

具有规定范围居里温度或者晶格常数的单畴晶体。

#### 4.2.4 四硼酸锂，硅酸镓镧晶体

无双晶的单晶。

### 4.3 生产及检测设备

#### 4.3.1 加工设备

企业应具有高精度磨床、多线切割、全自动倒角、双面研磨、单面减薄、单面抛光的大型高精度、高稳定性加工设备。

#### 4.3.2 高精度设备

企业应具有定向仪、轮廓仪、高倍显微镜、差热分析仪、平面度测试仪、Candela（坎德拉）等高精度设备。

#### 4.3.3 清洗能力

企业应具有高清洗能力，以满足客户产品免清洗的要求。

### 4.4 工艺

#### 4.4.1 工艺流程

企业应具备切、磨、减薄、抛等必备的工艺流程。

#### 4.4.2 工艺要求

采用大型、高稳定性、高平整度设备对产品进行研磨、减薄、抛光等加工过程，保障产品具备高光洁度、高平面度质量。

#### 4.5 环保

生产后产生的碎晶片、晶体头尾料、晶粉及废砂应回收利用。生产后的工业废水应中和排放，应具备处理生产工业废水的能力。

### 5 产品要求

#### 5.1 单畴化

产品电畴形状应正确，分布均匀，方向一致。

#### 5.2 居里温度及其允差

按下列要求确定：

- a) LN 中心值在 1139℃~1145℃内，允差为中心值±2℃；
- b) LT 中心值在 600℃~604℃内，允差为中心值±2℃。

注：居里温度及其允差只适用于LN、LT晶体，该指标的中心值可由供需双方协商确定。

#### 5.3 晶片取向（定向）允差

晶片取向允差应由供需双方协商，如无明确要求，按下列要求确定：

- a) 石英晶体允差±10′；
- b) LN、LT、LBO 允差±12′；
- c) LGS 晶体允差±10′。

#### 5.4 外观质量

具体要求：

- a) 划痕：正面无划痕；
- b) 表面缺口：无缺口；
- c) 边缘倒角：径向深度小于 0.5 mm；
- d) 外围弦长小于 1.0 mm；
- e) 裂纹：无裂纹；
- f) 污染：无污染；
- g) 其它：无其它如凹陷、麻坑和桔皮等缺陷。

#### 5.5 直径及其允差

按下列要求确定：

- a) 76.2 mm±0.2 mm（一般称为 76.2 mm 晶片，或“3 英寸”晶片）；
- b) 100.0 mm±0.3 mm（一般称为 100 mm 晶片，或“4 英寸”晶片）；
- c) 125.0 mm±0.3 mm（一般称为 125 mm 晶片，或“5 英寸”晶片）；
- d) 150.0 mm±0.3 mm（一般称为 150 mm 晶片，或“6 英寸”晶片）；
- e) 200.0 mm±0.3 mm（一般称为 200 mm 晶片，或“8 英寸”晶片）。

#### 5.6 厚度及其允差

按下列要求确定：

- a) 厚度为 0.15 mm 至 0.80 mm。直径 100mm 及以下晶片，其厚度允差为 (0.15 mm~0.5 mm) ± 0.01 mm；
- b) 直径大于 100mm 的晶片，其厚度允差为 (0.15 mm~0.8 mm) ± 0.02 mm。

## 5.7 基准面 OF

### 5.7.1 OF 的尺寸及其允差：

- a) 22.0 mm ± 2.0 mm (对于 76.2 mm 的晶片)；
- b) 32.5 mm ± 2.0 mm (对于 100 mm 的晶片)；
- c) 42.5 mm ± 2.0 mm (对于 125 mm 的晶片)；
- d) 47.5 mm ± 2.0 mm (对于 150 mm 的晶片)；
- e) 57.5 mm ± 2.0 mm (对于 200 mm 的晶片)。

### 5.7.2 定向允差：

- a) 向允差供需方协商规定，一般为 ±12'；
- b) 除非供需双方另有规定，OF 方向应该垂直于 SAW 传播方向。石英晶片的 OF 方向是 X 面 (110) 方向，由晶片中心直指 OF 的方向即是 -X 方向。

## 5.8 第二基准面 SF

### 5.8.1 SF 尺寸及其允差参考如下 (除非另有规定)：

- a) 11.2 mm ± 3.0 mm (对于 76.2 mm 的晶片)；
- b) 18.0 mm ± 3.0 mm (对于 100 mm 的晶片)；
- c) 27.5 mm ± 3.0 mm (对于 125 mm 的晶片)；
- d) 37.5 mm ± 3.0 mm (对于 150 mm 的晶片)。

### 5.8.2 SF 定向允差：

- a) SF 定向允差应参照 OF 测量，供需方协商规定，一般为 ±1°；
- b) 可使用激光标记标识晶片的正面。

## 5.9 背面粗糙度

由供需双方协定 (参考表1)。

表1 背面粗糙度、翘曲度、TV5 和 TTV 的技术要求

材 料	晶片直径	背面粗糙度 μm	翘曲度 μm	TV5 μm	TTV μm	PLTV (5x5 mm, LTV ≤ 0.5 μm)
人造石英	76.2 mm (3" )	≥0.5	≤30	≤10	≤10	≥95%
		<0.5	≤20	≤10	≤10	≥95%
	100 mm	≥0.5	≤40	≤10	≤10	≥95%
		<0.5	≤30	≤10	≤10	≥95%
LN、LT	76.2 mm (3" )	≥2.0	≤50	≤15	≤15	≥95%
		2.0~0.5	≤40	≤15	≤15	≥95%
		<0.5	≤40	≤10	≤10	≥95%
	100 mm	≥2.0	≤50	≤20	≤20	≥95%

表1 背面粗糙度、翘曲度、TV5 和 TTV 的技术要求 (续)

材 料	晶片直径	背面粗糙度 $\mu\text{m}$	翘曲度 $\mu\text{m}$	TV5 $\mu\text{m}$	TTV $\mu\text{m}$	PLTV ( $5\times 5\text{ mm}$ , $\text{LTV}\leq 0.5\ \mu\text{m}$ )
LN、LT	100 mm	2.0~0.5	$\leq 40$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$
	125 mm	$\geq 2.0$	$\leq 60$	$\leq 20$	$\leq 20$	$\geq 95\%$
		2.0~0.5	$\leq 50$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$
LN、LT	150 mm	$\geq 2.0$	$\leq 60$	$\leq 20$	$\leq 20$	$\geq 95\%$
		2.0~0.5	$\leq 50$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$
	200 mm (8")	$\geq 2.0$	$\leq 60$	$\leq 20$	$\leq 20$	$\geq 95\%$
		2.0~0.5	$\leq 50$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$
LBO	76.2 mm (3")	$\geq 0.5$	$\leq 40$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
	100 mm	$\geq 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$
LGS	76.2 mm (3")	$\geq 0.5$	$\leq 40$	$\leq 15$	$\leq 15$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$
	100 mm	$\geq 0.5$	$\leq 40$	$\leq 20$	$\leq 20$	$\geq 95\%$
		$< 0.5$	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 95\%$

## 5.10 翘曲度 warp

晶片翘曲度应符合表1规定。

## 5.11 PLTV

晶片PLTV应符合表1规定。

## 5.12 TV5 或 TTV

晶片TV5和TTV应符合表1规定。

## 5.13 晶格常数

LT晶体: 25℃时,  $a_0$ -轴  $0.51540\text{ nm}\pm 0.00002\text{ nm}$ 。

注: 也可以采用居里温度。

## 5.14 正面(传播面)光洁度

晶片正面(传播面)光洁度应符合表2规定。

表2 正面（传播面）加工质量技术要求

材料	光洁度	备注
LN	<1 nm	符合产品规范和双方技术协议要求。
LT	<1 nm	符合产品规范和双方技术协议要求。
LBO	<1 nm	符合产品规范和双方技术协议要求。
LGS	<1 nm	符合产品规范和双方技术协议要求。

### 5.15 还原 LN 和 LT 的体电阻率 (B. R.) 或电导率 (B. C.)

#### 5.15.1 LN 要求范围:

- $1.0 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm} < \text{B. R.} < 1.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$
- $1.0 \times 10^{-12} \text{ S/cm} < \text{B. C.} < 1.0 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$

#### 5.15.2 LT 要求范围:

- $1.0 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm} < \text{B. R.} < 1.0 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$
- $1.0 \times 10^{-13} \text{ S/cm} < \text{B. C.} < 1.0 \times 10^{-10} \text{ S/cm}$

### 5.16 包裹体

LN/LT/LBO/LGS无可视包裹体。

人造石英晶体按照GB/T 3352的规定，包裹体密度（个/cm<sup>3</sup>）应满足或优于II级。

### 5.17 石英晶片的腐蚀隧道密度和籽晶位置

5.17.1 石英晶片籽晶部分的腐蚀隧道密度腐蚀隧道在未贯穿正、背表面的情况下，腐蚀隧道密度见表3。

表3 籽晶处腐蚀隧道密度最大值

等级	76.2 mm 晶片	100 mm 晶片
1	6	8
2	12	16
3	36	47

5.17.2 籽晶位置应位于Z向中心宽度±3.5 mm范围之内，且平行于晶片中心的X方向。

## 6 试验方法

### 6.1 单畴化

通过腐蚀法（见YS/T 554—2007 铌酸锂单晶附录B）观察正负面畴结构。

### 6.2 居里温度

用差热法或介电测试法（见附录C.1.1）测量铁电材料的居里温度。

### 6.3 晶片方向

用X-射线衍射（见附录C.3.1和图C.4）测量晶片方向。

## 6.4 外观

### 6.4.1 检测方法

采用目测检验。检验时采用150 W卤素灯，且背对暗背景，以防止漫射光的干扰。晶片完整、无碎裂、无崩边，具有一个或一个以上完整基准边；晶片表面无污渍、无指印。

注：3"晶片，边缘倒角，允许深度不超过1.0 mm的缺口≤5个。

### 6.4.2 抛光面

镜面抛光，无划痕、无桔皮纹、麻点及砂路等。以光洁度（Ra）的大小来衡量抛光面的质量水平。

### 6.4.3 籽晶

适用于QZ，有籽片，籽晶无穿孔、无开裂；无籽片。

## 6.5 尺寸

### 6.5.1 直径

用精度为0.0001 mm的轮廓仪测量晶片直径（不包含OF和SF部分）。

### 6.5.2 厚度

用精度为0.001 mm的千分尺测量晶片中心的厚度，按照GB/T 6618中的第7项测量程序来测试。

### 6.5.3 OF 长度

用精度为0.02 mm的卡尺测量OF长度（与晶片圆周相交的直切边）。

### 6.5.4 OF 方向

用X-射线定向仪测量几何基准面与晶格平面参考方向的偏差。测量方法按附录C.3.4和图C.5。

## 6.6 背面粗糙度

既可采用接触方法，也可采用光学方法来测量背面粗糙度。表2所列的平均粗糙度（ $R_a$ ）数值是通过接触式轮廓仪测得的。晶片的测量数据通常取决于测量方法（例如探针半径、取样间距、光学参数等）。

## 6.7 翘曲度

采用光学平面度测量装置测量翘曲度和其它平面度参数。

## 6.8 PLTV

采用专用平坦度测试仪测量夹持状态下晶片的PLTV。

## 6.9 TV5

用精度为0.001 mm的千分尺、按GB/T 6618规定的测试方法测量TV5。选点为晶片中心点和距晶片边缘6 mm的四点。

## 6.10 TTV

用光学平面度测量装置测量夹持状态下晶片的TTV。

### 6.11 晶片正面缺陷

按附录C.5的规定检查晶片的表面缺陷。

### 6.12 包裹体

用晶片抛光表面的光反射检验包裹体。检验应当在洁净环境中进行。检验时要采用150W卤素灯，且背对暗背景，以防止漫射光的干扰。

### 6.13 晶格常数

用X-射线定向仪（XRD）（见附录C.2）测量晶片的晶格常数。

### 6.14 体电阻率

在室温下，晶片两面加上500 V直流电压，1分钟后测量通过的电流，确定其体电阻率。内电极的直径应在30 mm至70 mm之间（参见附录C.4）。

## 7 检验规则

### 7.1 检验分类

产品检验分出厂检验和型式检验。

### 7.2 出厂检验

#### 7.2.1 抽样方案

车间将总检合格的产品，送质检部门检验，检验按GB/T 2828.1标准的正常检验一次抽样方案，见下表。

表4 抽样方案

抽样方案	类型	单抛			双抛		特种
		3"	4"	6"	3"	4"	
项目		3"	4"	6"	3"	4"	
定向精度		全检（晶体）					
Tc		3"、3.5"≥5%、4"、6"≥20%					
外观		检查水平 I、 AQL=0.4	检查水平 I、 AQL=0.4		检查水平 I、 AQL=0.15		检查水平 I、 AQL=0.4
直径							
厚度							
基准边长度							
粗糙度							
BOW							
PLTV							
TTV							

#### 7.2.2 合格判定

对每项检验项目都符合要求，判定为合格，反之为不合格。

注：LN/LT电阻率不适合其他材料。

### 7.3 型式检验

#### 7.3.1 检验项目

型式检验项目除出厂检验项目外还包括单畴化，居里温度，晶格常数，光洁度。

#### 7.3.2 检验条件

有下列情况之一时应进行型式试验：

- a) 新产品试制、定型、鉴定时；
- b) 正式生产后，当产品在设计、工艺、材料发生较大变化，可能影响产品的性能时；
- c) 停产半年以上恢复生产时；
- d) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- e) 正常生产时，每年至少进行一次。

#### 7.3.3 组批

以一根晶体为一批计。

#### 7.3.4 抽样及判定

型式检验的抽样及判定按表5的规定进行。经检验所有项目均合格时，则判定该批产品为合格；凡有一项或一项以上不合格，则判定该批产品不合格。

表5 型式检验要求

检验项目	样本量	Ac	Re
单畴化	头尾2片	0	1
居里温度	头尾2片	0	1
定向精度	头尾2片	0	1
外观	10片	0	1
直径	10片	0	1
厚度	10片	0	1
基准边长度	10片	0	1
粗糙度	10片	0	1
BOW	10片	0	1
PLTV	10片	0	1
TTV	10片	0	1
晶格常数	1片	0	1
光洁度	10片	0	1
体电阻率	10片	0	1

注：LN/LT电阻率不适合其他材料。

## 8 标志、包装、运输和储存

### 8.1 标志

包装盒面上贴有合格证，合格证上注明晶片型号、数量、检验员码章、日期、环保标志及标准号；顾客有要求时按顾客要求标志。

## 8.2 包装

检验合格的晶片，晶片以一根晶体为单位分别装盒，每片用擦镜纸或电容纸包好后装入盒内；3”、4”、6”、8”晶片放入塑料包装盒内，每盒25片或按顾客要求进行包装。

## 8.3 运输

产品在运输过程中应防震、防潮、小心轻放。

## 8.4 储存

产品应储存在干燥，无腐蚀环境的仓库内。晶片产品储存温度 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ；湿度：20%~75%RH。

## 9 质量承诺

产品质量保证符合双方协定的技术标准，并对产品质量负责、必要时向购买方提供必要的质量资料，如产品检验报告书等相关资料。本产品指定存放条件下承诺保质期5年。

ZHEJIANG MADE

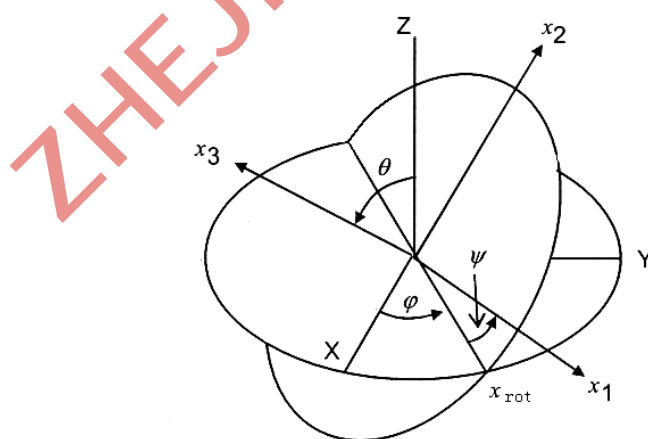
附 录 A  
(规范性附录)  
压电单晶的欧拉角表示法

### A.1 晶片方向的欧拉角表示法

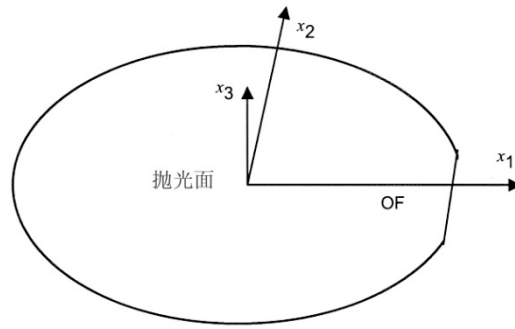
压电单晶材料的张量特性，例如压电常数 ( $d_{ij}$ )、弹性常数 ( $c_{ij}$ ) 和介电常数 ( $\epsilon_{ij}$ ) 可以用一个与晶轴有关的直角坐标系 ( $X, Y, Z$ ) 来表达。用于SAW器件制作用晶片的切向通常为各种旋转切向。欧拉角 (Euler angle) 表示法是一种表示晶片表面法线的结晶方向及与SAW传播方向重合的基准面方向的方法。

图A.1示出了将晶轴 ( $X, Y, Z$ ) 转变为图A.2所示晶片坐标系 ( $x_1, x_2, x_3$ ) 的三次旋转及其旋转角度。SAW传播方向一般为 $x_1$ 方向；晶片表面法线为 $x_3$ 方向；晶片正面 (用 $+x_1$ 表示) 为制备电极的抛光面。 $x_2$ 由其他二个向量所构成的右旋正交坐标系来确定。为了使欧拉角旋转更为形象化，从具有 ( $X, Y, Z$ ) 晶轴的晶体开始说明。按照图A.1所示的方向，第一次旋转为围绕 $Z$ 轴旋转角度  $\phi$ ， $\phi$ 取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，旋转后，原 $X$ -轴被定位在 $x_{rot}$ ；第二次旋转围绕新定位的 $x_{rot}$ 旋转角度  $\theta$ ， $\theta$ 取值范围被限定为 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，旋转后，原 $Z$ -轴被定位在 $x_3$ ，这是晶片表面的法线；第三次旋转围绕 $x_3$ 旋转角度  $\psi$ ， $\psi$ 取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，旋转后， $x_{rot}$ 被定位为 $x_1$ ，即晶片基准边方向。利用特定范围的欧拉角，为任意晶片方向的表示提供了一个完整的方法。并且，该表示法还可以指明晶片哪一面需要被抛光。

以LN晶片为例，其 $Y$ 面为极性面，采用氢氟酸进行湿法腐蚀，晶片正背两面的腐蚀速率不同。角度 ( $0^\circ, 90^\circ, 90^\circ$ ) 表示晶片的 $-Y$ 面为抛光面，有一条基准边在晶片的 $+Z$ 端上；角度 ( $180^\circ, 90^\circ, 90^\circ$ ) 表示晶片的 $+Y$ 面为抛光面，该基准边仍然在晶片的 $+Z$ 端上。虽然SAW的特性一般与晶片哪一面被抛光没有关系，但是，热释电、腐蚀等特性却与之有关。所以，确定晶片的抛光面是必要的。



图A.1 将坐标系 ( $X, Y, Z$ ) 旋转为 ( $x_1, x_2, x_3$ ) 的欧拉角示意图

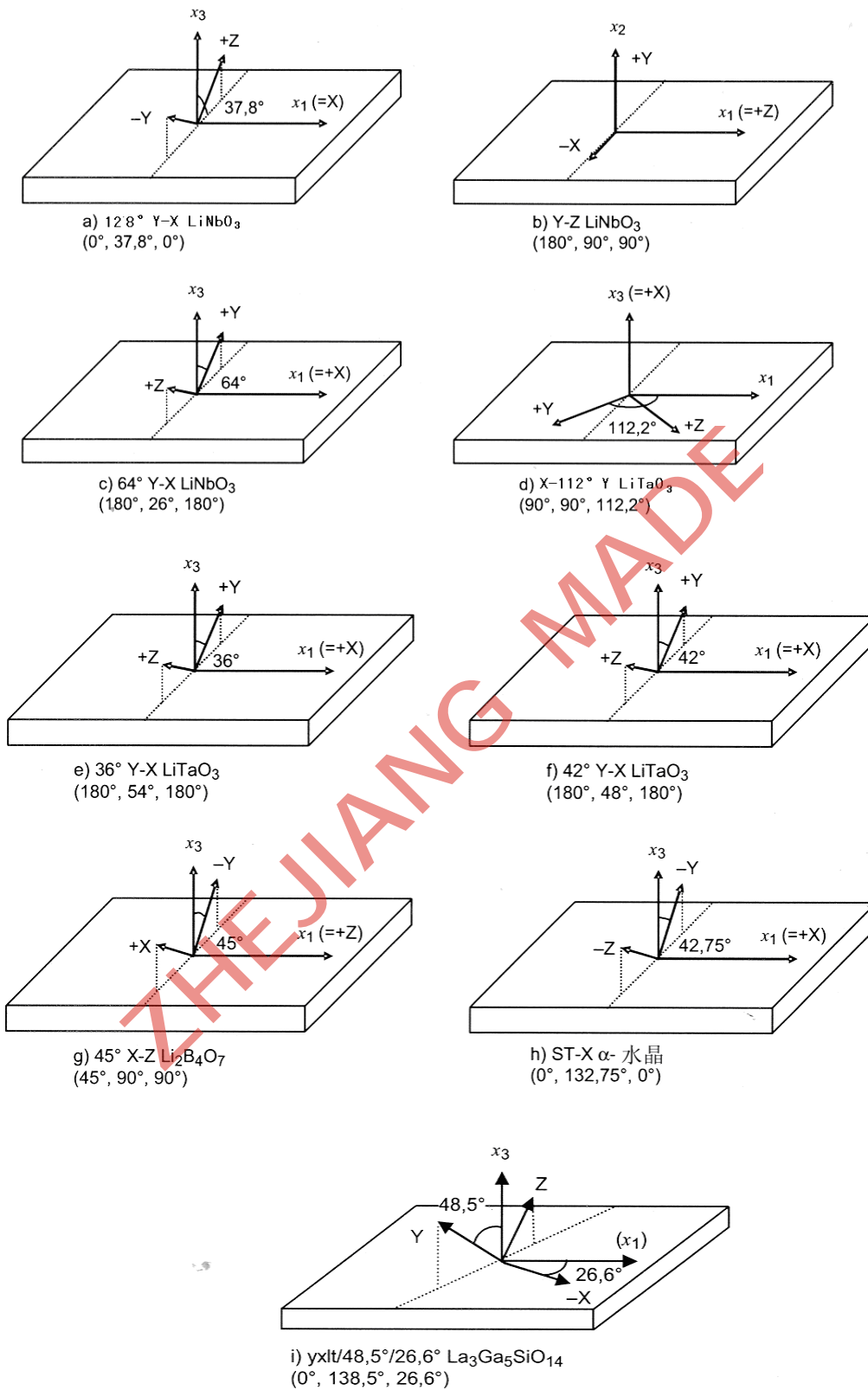


图A.2 SAW晶片坐标系

表A.1列出了SAW基片的典型方向和欧拉角，其对应的晶片切向如图A.3所示。

表A.1 SAW基片方向的选取与对应的欧拉角

材料(缩写)	切角和传播方向	化学式和欧拉角
128° Y-X LN	Y 旋转 127.86° 切, X 方向 SAW 传播 铌酸锂基片	LiNbO <sub>3</sub> (0°, 37.8°, 0°)
Y-Z LN	Y 切, Z 方向 SAW 传播 铌酸锂基片	LiNbO <sub>3</sub> (180°, 90°, 90°)
64° Y-X LN	Y 旋转 64° 切, X 方向 SAW 传播 铌酸锂基片	LiNbO <sub>3</sub> (180°, 26°, 180°)
X- 112° Y LT	X 切, Y 旋转 112.2° 方向 SAW 传播 钽酸锂基片	LiTaO <sub>3</sub> (90°, 90°, 112.2°)
36° Y-X LT	Y 旋转 36° 切, X 方向 SAW 传播 钽酸锂基片	LiTaO <sub>3</sub> (180°, 54°, 180°)
42° Y-X LT	Y 旋转 42° 切, X 方向 SAW 传播 钽酸锂基片	LiTaO <sub>3</sub> (180°, 48°, 180°)
45° X-Z LBO	X 旋转 45° 切, Z 方向 SAW 传播 四硼酸锂基片	Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (45°, 90°, 90°)
ST-X α-石英	ST 切, X 方向 SAW 传播 α-石英晶体	SiO <sub>2</sub> (α-石英) (0°, 132.75°, 0°)
Yxlt/48.5° /26.6° LGS	Y 旋转 48.5° 切, X 旋转 26.6° 方向 SAW 传播 硅酸镓镧基片	La <sub>3</sub> Ga <sub>5</sub> SiO <sub>14</sub> (0°, 138.5°, 26.6°)



图A.3 某些晶片方向的晶轴、欧拉角与 SAW 方向之间的关系

附录 B  
(资料性附录)  
SAW 晶片制作工艺

## B.1 晶体生长方法

### B.1.1 Czochralski 法 (提拉法)

#### B.1.1.1 概述

将籽晶伸入盛有熔体的坩埚中,以生长单晶晶棒。在缓慢提拉籽晶的同时,旋转籽晶或坩埚。这样,随着熔体的逐渐冷却和凝固,便拉制出一根晶棒。1916年,波兰科学家 Jan Czochralski 率先使用这种方法生长出金属单晶,该工艺遂以其姓名命名。(注:在国内一般称为提拉法。)利用这种方法进行批量化工业生产始于 Ge 和 Si 单晶。1965年, Bell 实验室和前苏联某实验室采用这种方法生长出第一根 LN 和 LT 晶体。

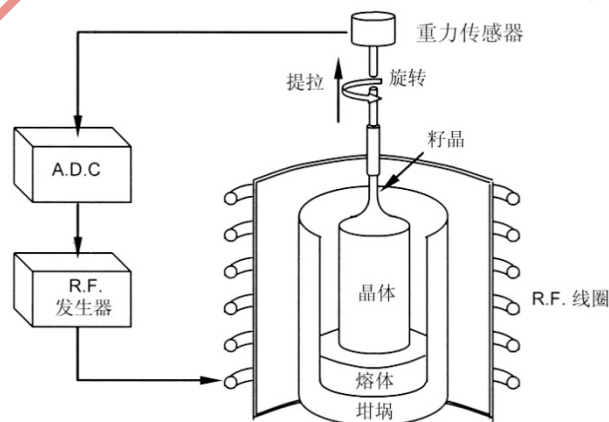
虽然这种方法既可采用射频感应加热,也可采用电阻加热。但是, LN、LT 和 LGS 晶体的生长一般都采用射频感应加热。图 B.1 示出了采用射频感应加热的设备简图。

LN (LT) 的原料制备如下:将  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  和  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) 粉末按照 0.93~0.95 的 Li/Nb (Li/Ta) 摩尔比进行混合、成型煅烧。再将所形成的 LN (LT) 多晶陶瓷放入坩埚中,并加热坩埚使之熔化。

LGS 的原料由  $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  按照化学计量配比混合而成。将该混合料压制成小球状,在  $1200^\circ\text{C}$  以上高温中煅烧几小时。最后,将所形成的多晶 LGS 按照 LN (LT) 的方式进行处理。

按所需要的晶体方向切割籽晶端部,小心地下放籽晶,使其端部恰好接触熔体。旋转该籽晶,以便在固液界面产生受控的凸界面。然后,以平缓的速度开始提拉,使得籽晶(连带生长的晶体)从熔体中拉出。将熔体温度准确控制于材料熔点附近,确保晶体在生长初期形成理想的颈部(晶棒顶端的细长部位)。

一旦形成了适当的颈部,接着就要给熔体逐渐降温,直到肩部成形和获得固定生长直径为止。生长时的晶体重量由重量传感器进行跟踪,如图 B.1 所示。根据实时导出的感应信号,可以推断出当前的生长直径。随即,自动直径控制(ADC)装置对射频的功率进行动态调节,以维持适当的生长直径。当达到所需晶体长度的时候,将晶体快速从熔体中提出来,结束生长,并缓慢地降至室温。



图B.1 提拉法晶体生长

#### B.1.1.2 畴结构

LN和LT都是铁电晶体，在生长过程中存在非极性顺电相。当把它们冷却到相变温度，即居里温度之下时，晶体结构从铁电相向顺电相转变，同时沿Z轴自发极化。这种情况发生后，在晶体内部一般会形成许多不同的极性区域，即所谓的畴，一些相邻的畴的极性甚至相反。这样的多畴结构是达不到使用要求的，因此，在将多畴晶体降温至相变温度之下的同时，要外加一个直流电压，使之转变为单畴晶体，这个过程叫做“极化”。

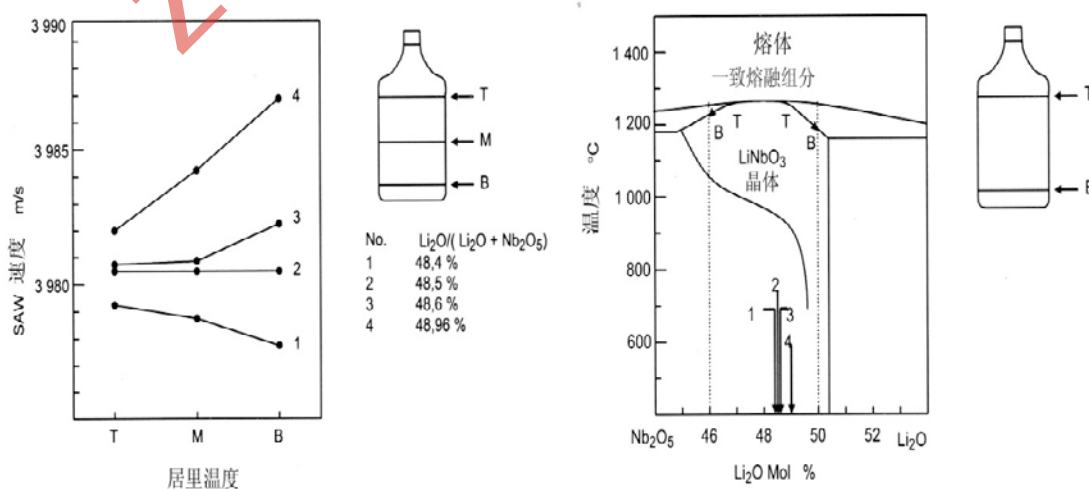
由于LN、LT晶体沿Z轴自发极化，因此，要在垂直于Z轴的晶面上放置电极对，将晶体加热到居里温度以上，在施加直流电压的同时进行冷却，实现极化。为消除晶体提拉生长过程中的热应力，应当在极化前，以低于熔点的温度对晶体进行退火。对于LT晶体而言，退火处理应在1300℃左右的温度下进行。晶体冷却至室温后，用导电金属胶将电极贴附在晶体表面，再升温到大约650℃，接着按照一定的电压/长度比值（mV/cm）施加直流电压，最后将晶体降温至约600℃的相变温度之下。由于LN晶体居里温度大约为1140℃，因此，其退火（约为1200℃）和极化处理通常是同时进行的。

### B.1.1.3 组分均匀性

晶体并不一定总像其分子式所表示的那样，按照化学计量配比的组分进行生长。还可能按照一致熔融组分配比的固熔体组分来进行结晶。对于这样的晶体材料，熔体组分决定了生长晶体组分。一般来说，晶体中的组分随生长过程发生变化。某些材料组成集合具有特定组分，当固体与熔体处于热力学平衡的时候，即为“一致熔融组分”。如果组分不被挥发（例如Li<sub>2</sub>O或者Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>），那么，就能从一致熔融组分熔体中生长出具有相同组分的均匀单晶晶体。

当Li/Nb（Li/Ta）摩尔比为0.93~0.95时，能从熔体中生长组分均匀的LN和LT晶体。生长LN和LT晶体时，如果生长组分偏离了理想组分，那么晶体的组分、居里温度、晶格常数和折射率等则会发生改变，SAW器件的关键指标声波传播速率也将随之改变。图B.2显示了LN生长实例。样品No. 4为富Li开始生长，随着晶体的生长，Li不断析出到熔体中。而熔体中的Li/Nb比增加，反过来使晶体中Li含量逐渐增加。因此沿着生长方向Li/Nb比增加，声波传播速率也将增大。只有当晶体沿晶轴按理想组分生长，声波传播速率才能在该方向保持不变。

理想组分可能会由于结晶速率、挥发等原因，而稍微偏离一致熔融组分。此处涉及的生长机制，样品No. 2为理想组分生长。在晶体生长过程中，组分挥发等因素也是导致晶体组分偏离一致熔融成分的原因之一。在LGS晶体生长过程中，Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>挥发严重，晶体会出现较大的组分不均匀性，致使生长良好均匀性晶体成为一道难题。



图B.2 由不同成分的熔融组分生长的晶体的非均匀性实例

### B.1.2 垂直Bridgman法（下降法）

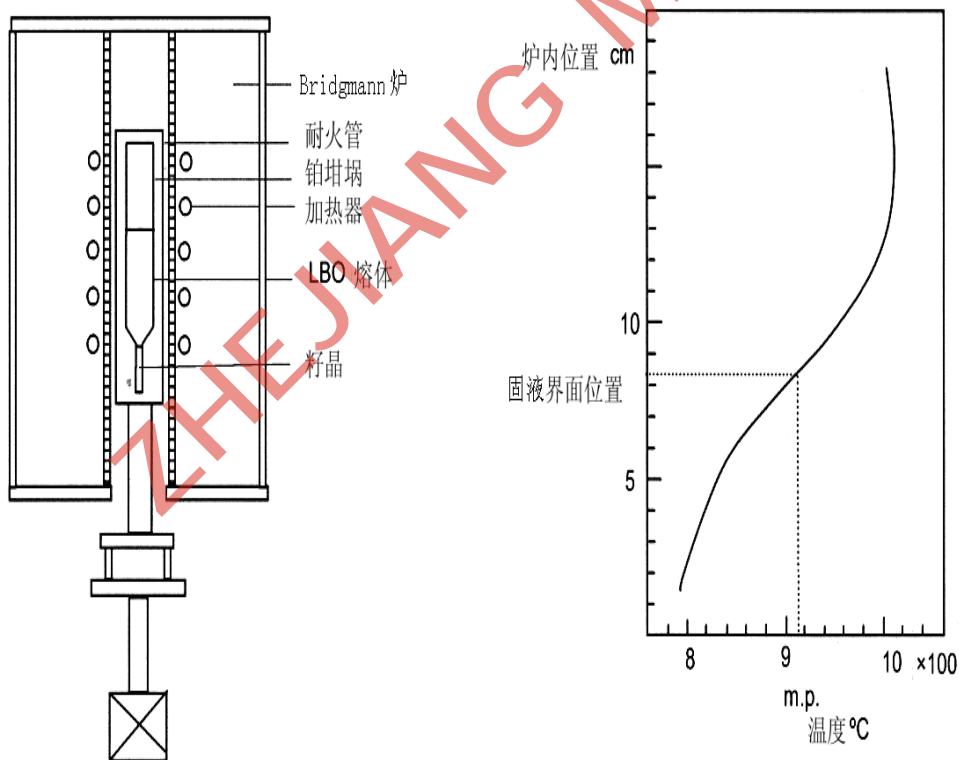
四硼酸锂 ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{LBO}$ ) 为化学计量配比。它的熔体组分相同，由于熔点以下不会发生相变，可以在熔点下生长晶体。LBO不属于铁电体，因此不需要进行极化处理。

LBO晶体生长最初采用的是Czochralski方法。但是，采用这种方法难以获得可供工业使用的大尺寸晶体。现在采用的是垂直Bridgman方法，采用这种方法可以获得满足商业化SAW晶片产品需求的大尺寸晶体。

垂直Bridgman方法是通过单方向固体化的方式来生长晶体的。具体做法是，将装有熔融态原料的坩埚沿着温度垂直分布的炉子移动（故一般称为下降法）。与其它生长方法相比，这种方法简单，成本低廉，晶体直径不需人为控制。由于熔体的黏度大、晶体与坩埚温差形成的热应力等因素的影响，生长的晶体偶尔会有双晶、开裂、多晶等缺陷。

图B.3为LBO晶体生长时炉膛温度分布示意图。LBO晶体熔点温度为 $917^\circ\text{C}$ ，相对较低，因此可以采用电阻加热。通常采用圆柱状薄壁铂金坩埚来消除各向异性热膨胀造成的应力。原料选用化学配比的多晶原料块或粉末。

根据资料报道，在固液界面温度梯度为 $10^\circ\text{C}/\text{cm}\sim 20^\circ\text{C}/\text{cm}$ 、生长速度 $0.2\text{ mm/h}\sim 0.3\text{ mm/h}$ 、熔体温度不超过 $950^\circ\text{C}\sim 1100^\circ\text{C}$ 等生长条件下可以生长 $2''\sim 4''$   $\langle 001 \rangle$ 、 $\langle 100 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 和 $\langle 011 \rangle$ 等方向的LBO晶体。

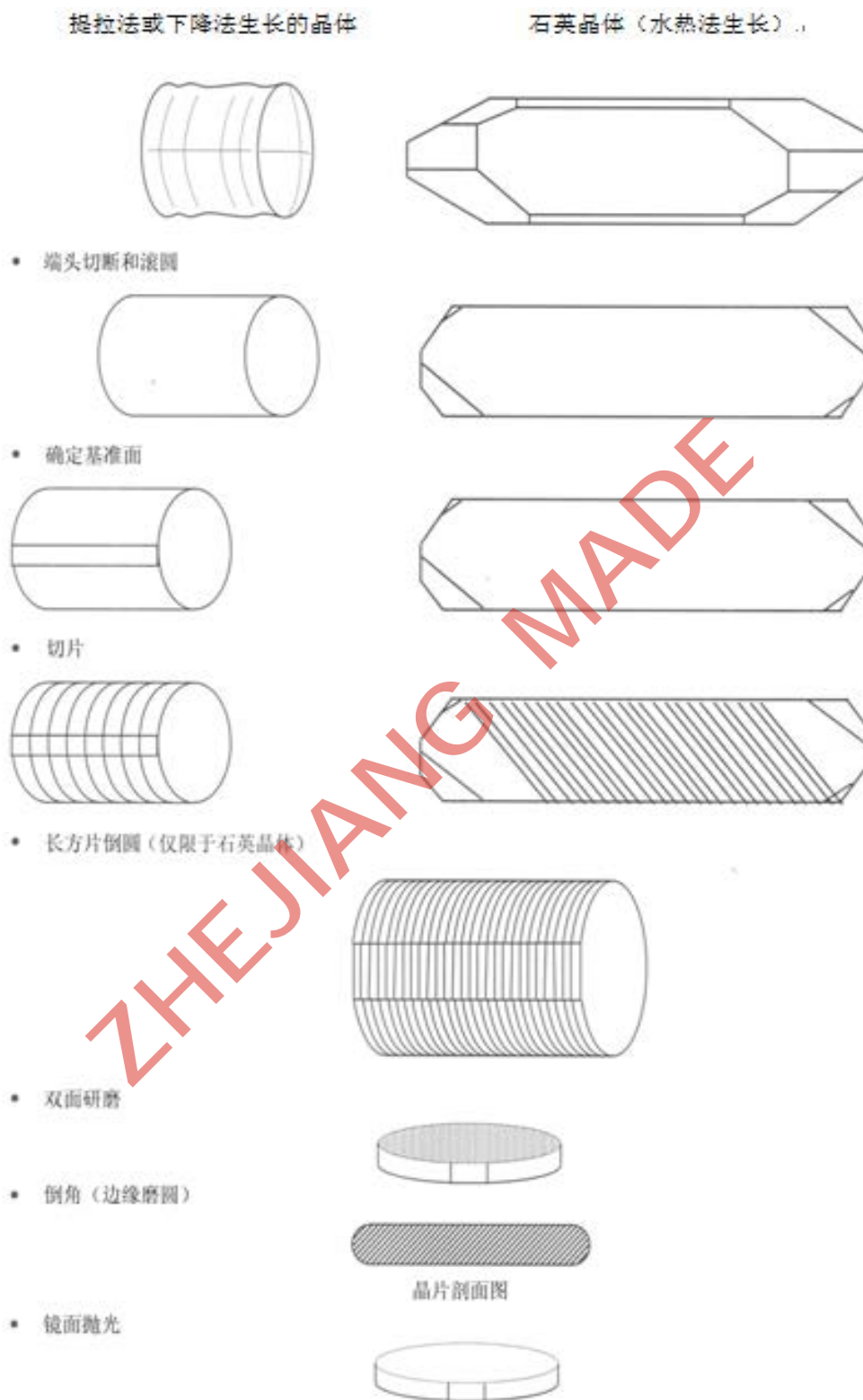


图B.3 Bridgman 垂直熔炉的示意图及温度分布实例

## B.2 标准晶片制作工艺

### B.2.1 工艺流程图

晶片制作工艺从原生晶体开始，工艺流程图如下所示：



图B.4 工艺流程

### B.2.2 端头切断和滚圆

原生晶体应按规定的表面方向和规定的角度去除两侧端头（端头表面方向的测量如图B.4所述）。然后对该晶体的纵向表面进行均匀磨削，使之磨成一根直径等于或略大于待加工晶片直径的圆柱状晶棒。

成形晶体进行定位夹装时，应考虑端面的定向偏差，以便晶片切割时对角度偏差进行校正。

### B.2.3 确定基准面

为了表明SAW传播方向，要在晶棒表面确定一个基准平面。该平面决定了将在下道工序中被加工的基准面的位置。SAW的传播方向就是根据这个基准面来确定的。

### B.2.4 切片

晶体切片可采用下列方式之一：

- a) OD（外圆刀片）切片：利用刀片外圆周上带有钻石层的刀刃切割；
- b) ID（内圆刀片）切片：利用刀片内圆周上带有钻石层的刀刃切割；
- c) 条锯或线锯切片：利用粘附有磨料（一般为SiC或钻石）的条锯或金属丝进行切割。

注：刚切下的晶片的厚度偏差、翘曲度以及亚表面损伤深度可能对后续工序产生影响。

### B.2.5 双面研磨

通常毛坯片不能满足平行度、翘曲度、厚度一致性等技术要求。因此晶面抛光前，预先对毛坯片进行研磨，以提高平面度。研磨时，使研磨料悬浮于毛坯片与研磨板之间。由于增加磨料的颗粒尺寸或者研磨板的移动速率都将加深亚表面的损伤，使表面纹路更加粗重，所以通常研磨工艺分为多道工序，并且每道工序所用磨料的颗粒尺寸要适当。

### B.2.6 倒角（边缘滚圆）

倒角的目的是为了防止加工过程中边缘缺口，继而防止崩落的缺口碎片引起表面划痕。同样地，圆形边缘还减少了后工序热循环和加工作业时晶片开裂的可能性。

### B.2.7 镜面抛光

研磨之后，要对晶片进行镜面抛光，以获得无机械应力和划痕的平面。晶片的抛光面应当保持单晶的原有特性（例如单畴、无双晶）。在抛光工艺中，如果不能彻底消除结晶缺陷和诸如亚表面损伤之类的加工缺陷，可能会对SAW器件的性能产生影响。

## 附录 C (规范性附录) 测量方法

### C.1 居里温度的测量

#### C.1.1 概述

对单晶钽酸锂 (LT) 和铌酸锂 (LN) 进行居里温度 ( $T_c$ ) 测定。用于测定  $T_c$  的 DTA (差热分析) 和介电常数方法都是破坏性测试。应该使用哪种测量方法取决于用户和供应商之间的协议。

#### C.1.2 DTA测量方法

DTA (差热分析) 方法以单晶由铁电相转变为顺电相时, 会发生吸热或放热反应的现象为基础。将试样和参照物对称地放置于加热炉中 (见图 C.1), 以恒速率加热, 同时记录试样和参照物之间的温差。进行 LN 或 LT 的 DTA 实验时, 一般以三氧化二铝 ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) 作为参照物。当 LN 或 LT 超过相变温度时就会释放热量, 相对于三氧化二铝的温度曲线将被记录下来。温差突变时的温度为被测试样的居里温度 ( $T_c$ )。

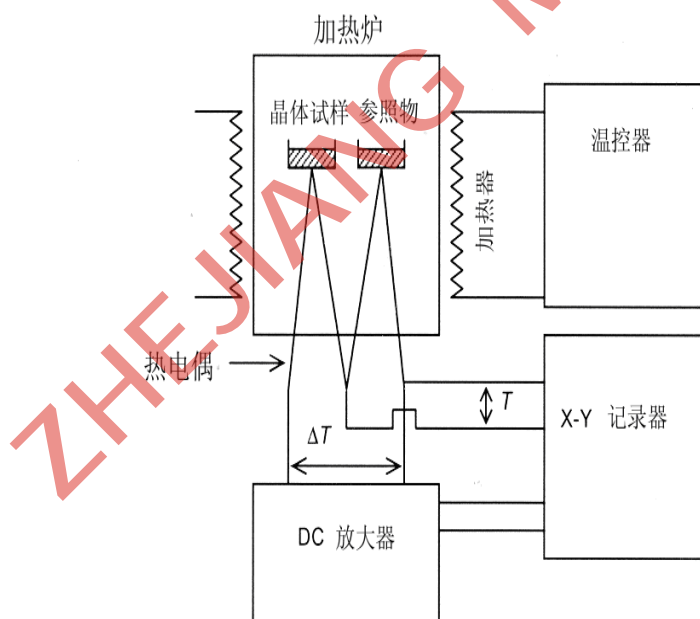
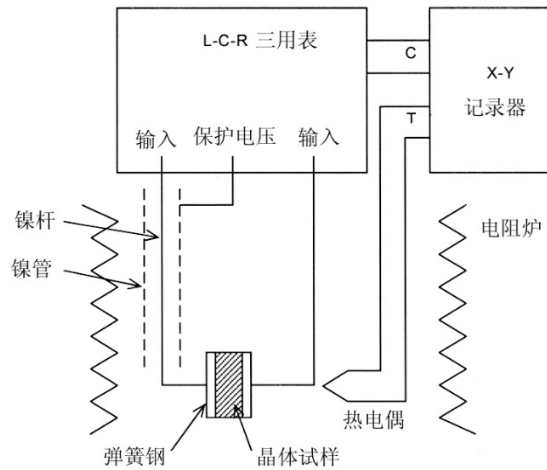


图 C.1 DTA 系统示意图

#### C.1.3 介电常数方法

介电常数方法基于对沿铁电晶体 Z 轴方向 (极轴) 的介电常数的测试。经测试发现, 介电常数的极大值出现在晶体相变温度之处。由于给定晶体试样的介电常数及其对应的电容仅是温度的函数, 所以, 可以选择足够小的加热或冷却速率来使热滞后最小化。在图 C.2 中, 给晶体试样设置了 Pt 或者 Ag-Pd 电极, 沿 Z-轴方向施加电场。仔细观察相位转变前后的温度, 同时通过 LCR-仪表来测量晶体试样的电容量。当电容量达到峰值的时候, 此时的温度即为居里温度  $T_c$ 。



图C.2 介电常数测试系统的示意图

C.2 晶格常数的测量 (Bond方法)

随着晶体化学组分的变化，SAW传播速度和晶格常数也会发生变化。为了将SAW速度精确到 $10^{-4}$ ，晶格常数应控制到 $10^{-5}$ ，而测量方法应精确到 $10^{-6}$ 。

通常采用X-射线衍射来测量晶格常数。测量方法基于布拉格 (Bragg) 方程：

$$2d \sin \theta = n\lambda \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $d$ ——晶格间距；
- $\theta$ ——布拉格角；
- $\lambda$ ——X射线的波长；
- $n$ ——衍射级数。

当给定 $\lambda$ ， $d$ 和晶格常数为测得角 $\theta$ 的函数，其灵敏度分析为：

$$\frac{\Delta d}{d} = -\cot \theta \times \Delta \theta \dots\dots\dots (2)$$

为使测得的 $\Delta d/d$ 值精确到 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 的数值范围， $\Delta \theta$ 应测量精确到弧秒级。1960年，Dr. Bond开发了精确测量晶格常数值的方法。

在Bond方法中，要对环绕同一晶格平面的两个对称位置进行两次测量，（即“正方向”和“负方向”测量）摇摆曲线的两个波峰值 $\omega_1$ 和 $\omega_2$ 的测量如图C.3所示，则 $\theta$ 为：

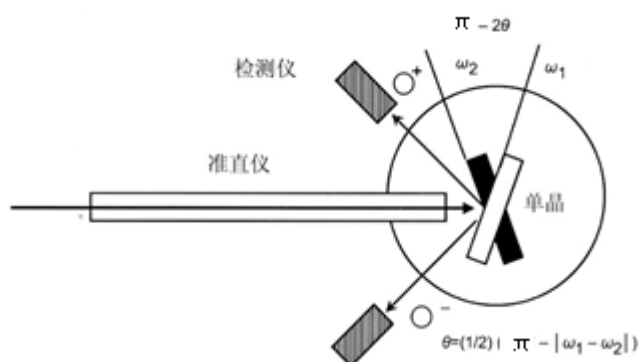
$$\theta = \frac{1}{2}(\pi - |\omega_1 - \omega_2|) \dots\dots\dots (3)$$

这种方法消除了偏心吸收误差 (off-center)，从理论上来说，也就消除了零位误差。值得注意的是，还应将温度、折射、散射和洛伦兹极化 (Lorentz-polarization) 校正考虑进去。

通过Bond方法测得LiTaO<sub>3</sub>米勒指数 (60-60)，其 $a$ -轴晶格常数为：

$$a = 6d_{66.0} \dots\dots\dots (4)$$

经过多次校正后，LiTaO<sub>3</sub>的晶格常数能够达到 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 的准确度。

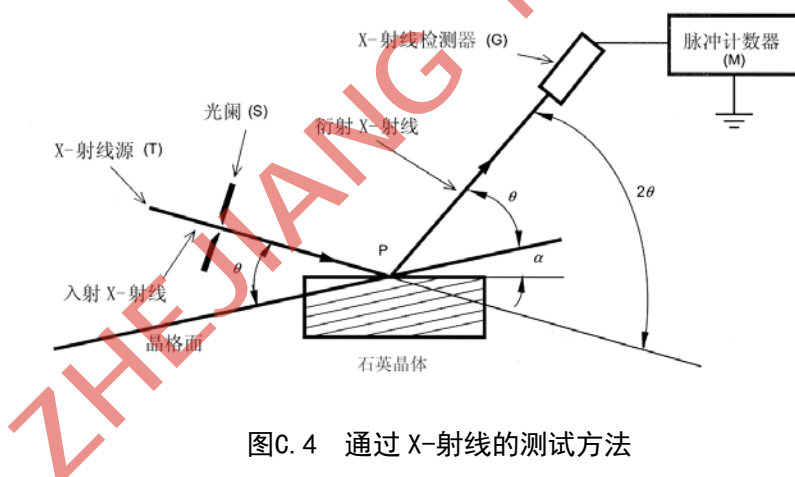


图C.3 Bond 方法

### C.3 用X-射线测量晶面角度（定向）的方法

#### C.3.1 测量原理

X-射线源由一束准直光和一块光反射晶片组成。X-射线检测器设置在与射线源成一定角度的地方。检测器将在晶体旋转到布拉格角时记录最大信号值，测角仪将显示出晶片表面与晶格面之间的夹角  $\alpha$ ，如图C.4所示。



图C.4 通过 X-射线的测试方法

#### C.3.2 测量方法

在测量受测样品的晶面角度之前，需用参考样品来校准测角仪。然后，将受测样品的衍射数据与参考样品的数据进行比对，计算受测样品的晶面角度偏差。

#### C.3.3 晶片取向的测量

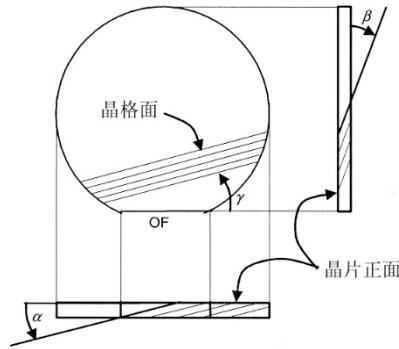
应按两个方向测量晶面角度：

- 与 OF 平行方向： $\alpha$ （正视 OF 的时候，如图 C.5 所示正方向）。
- 与 OF 垂直方向： $\beta$ （如图 C.5 所示正方向）。

注：测量OF基准面取向时， $\alpha$ 角逆时针旋转为正。

#### C.3.4 OF方向的测量

角度  $\gamma$  的测量（如图C.5所示正方向）。



图C.5 切角与晶面的关系

### C.3.5 典型的晶片切型和参考平面

典型的晶片切型和参考平面见表C.1。

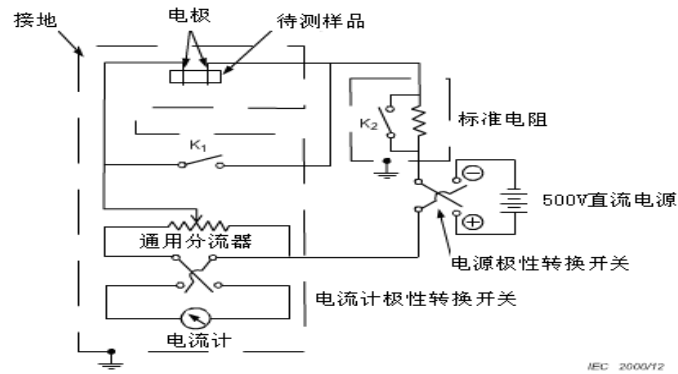
表C.1 切型和参考平面

材料	晶片切型	切割参考晶面	$\alpha$	$\beta$	OF 基准面	$\gamma$
LN	128° Y-X	(0 -1 1 4) 六方	0	0	(2 -1 -1 0) 六方	0
LN	Y-Z	(0 3 -3 0) 六方	0	0	(0 0 0 6) 六方	0
LN	64° Y-X	(0 1 -1 8) 六方	+4° 46'	0	(2 -1 -1 0) 六方	0
LT	X-112° Y	(2 -1 -1 0) 六方	0	0	(0 1 -1 2) 六方	-79° 16'
LT	X-112° Y	(2 -1 -1 0) 六方	0	0	(0 -1 1 10) 六方	-5° 02'
LT	X-112° Y	(2 -1 -1 0) 六方	0	0	(0 0 0 6) 六方	-22° 12'
LT	36° Y-X	(0 1 -1 2) 六方	-3° 04'	0	(2 -1 -1 0) 六方	0
LT	42° Y-X	(0 1 -1 2) 六方	-9° 05'	0	(2 -1 -1 0) 六方	0
LBO	45° X-Z	(1 1 0) 四方	0	0	(0 0 1) 四方	0
QZ	ST-X	(0 1 -1 1) 六方	+4° 32'	0	(2 -1 -1 0) 六方	0
LGS	yxlt/48.5° /26.6°	(0 1 -1 1) 六方	-5° 45'	0	(1 1 -2 0) 六方	-26° 36'

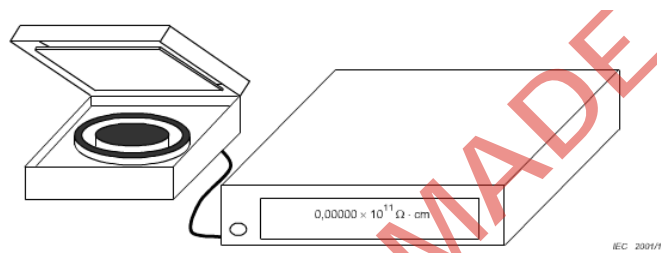
## C.4 体电阻率测量

### C.4.1 晶片电阻测量

电阻测量设备的绝缘电阻为 $1.0 \times 10^8 \sim 10^{16} \Omega$ ，并且具有测量晶片电阻的圆形电极。晶片测量时，放在设备电极之间。加上500 V电压时测量通过晶片的电流，在电压加上一分钟后读取电流值。测量电路和设备如图C.6和图C.7所示。



图C.6 测量电路



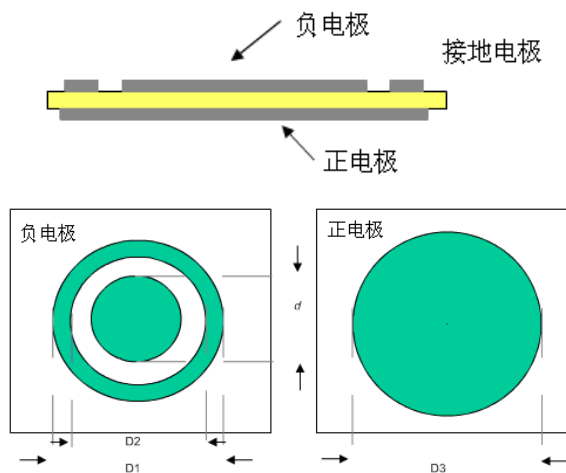
图C.7 测量设备

C.4.2 电极

电极形状和尺寸见图C.8和表C.2。

表C.2 电极尺寸

正电极直径 mm			负电极直径 mm
D1	D2	d	D3
$80 \pm 0.5$	$70 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$	$100 \pm 0.5$



图C.8 电极形状

### C.4.3 体电阻率

测量晶片电阻后，按下式计算体电阻率：

$$\rho_v = R(\pi d^2 / 4t) \dots\dots\dots (1)$$

$$R = V / I \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\rho_v$ ——体电阻率（ $\Omega \cdot \text{cm}$ ）；

$d$ ——内电极直径；

$t$ ——晶片厚度；

$R$ ——体电阻（ $\Omega$ ）；

$V$ ——直流电压（V）；

$I$ ——电流（A）。

### C.5 视检

#### C.5.1 晶片正面检查方法

制作性能稳定的SAW换能器（器件），要求对晶片的正面进行镜面抛光。晶片的常规检查应目检下列缺陷：

- a) 划痕；
- b) 缺口；
- c) 裂纹；
- d) 玷污；
- e) 凹陷，麻坑、桔皮等。

目检判据可以是：

- a) 定量测量；
- b) 定性描述；
- c) 可视文件（如图表、照片等）；
- d) 有代表性的样品。

检验记录必须明确表明产品是否通过已确定的判据。

典型的晶片检验是在150W卤素灯下进行目检，以进一步查明晶片的细微缺陷。根据环境条件，可使用不同的显微镜方法（例如，明视场、暗视场、Nomarski）。目检应在洁净环境中进行，且将晶片悬置于暗表面之上。检查场所的光线应当暗淡，以防止外围杂散光的干扰，使检验员能清楚查看晶片表面。

为了避免测量的片面性和准确地计量受检样品的缺陷数量，晶片样片应当以固定的抽样频次从某批产品中随机抽取。对于一些可变条件，例如晶体表面的受检区域、检查光源的具体要求（如强度、类型或者照射角度），应在供需双方之间达成协议。在条件允许时，应采用定量的缺陷判据。