

## 通过 SPM 实现压电材料微观区域中压电响应的可视化

01-00021-CN

黑田 古都美、森口 志穗

### 对用户的好处

- ◆ 可以观察决定压电材料特性的重要因素——各极化域的压电响应。
- ◆ 可以在与实际的使用环境相近的氛围（大气、惰性气体、低真空等）下进行评价。
- ◆ 通过与 SPM 一体化的高性能光学显微镜，可进行更加精密的目标探索。

### 简介

压电材料具有在外界压力下产生变形，进而产生电压的特性。充分利用该特性，压电材料可作为传感器、蜂鸣器、滤波器，在各种工业产品中发挥着重要作用。近年来，随着电子设备、通信设备的小型化，需加大研究力度，进一步提高压电材料的性能。

压电材料由均匀自发极化的区域（域）组成。如图 1 所示，这些域在不同方向极化，对施加电压呈现不同的响应。各域的响应是决定压电材料性能的重要因素。而施加电压引起的纳米级变形也并不少见，需要高灵敏度以评估该响应。本文介绍了使用可以检测出亚纳米级响应的扫描探针显微镜 [SPM (AFM)] 捕获压电材料对施加电压的微弱响应的案例。

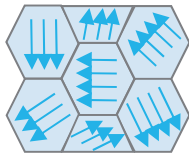


图 1 分极化域的示意图

### SPM-Nanoa

SPM 是一种使用微小的探针（悬臂式）对样品表面进行扫描，以实现高分辨率观察、检测样品三维形貌以及局部物理性质的显微镜。SPM-Nanoa 配置先进的高灵敏度检测系统和自动观察系统，是一种可以让您“想看到的愿望”，更加详细、更加简单、更加迅速地变成现实的新型 SPM。可以为微观区域的形貌观察以及物理性质测定提供强有力的支持。SPM-Nanoa 的外观如图 2 所示。

SPM-Nanoa 的主要特点如下：

- ① 自动观察：激光的光轴调整和观察中扫描参数调整实现自动化
- ② 功能强大：通过高分辨率捕捉局部物理特性
- ③ 缩短时间：通过丰富的支持功能，实现快速观察

本文介绍了②功能强大中的一项，通过高分辨率捕捉局部物理特性（压电响应）的案例。

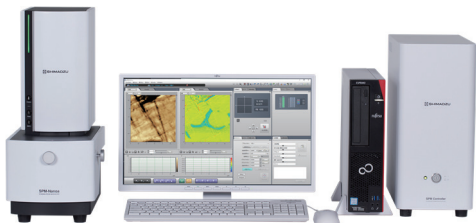
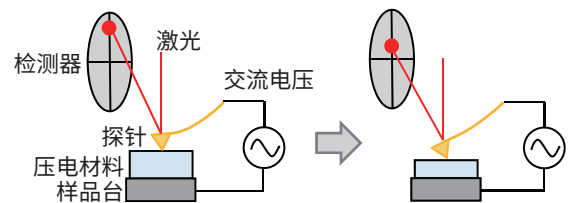


图 2 扫描探针显微镜 SPM-Nanoa™

### 极化域观察机制

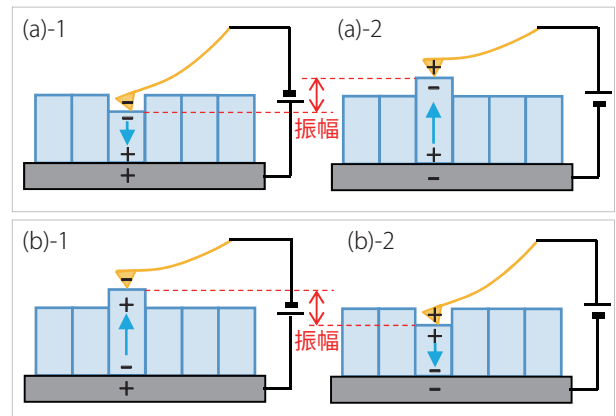
图 3 为压电材料的伸缩检测示意图。SPM 使用带有微小探针的微悬臂检测压电材料的局部变形，其原理是通过检测入射到检测器上激光的位置来检测微悬臂的弯曲量。当探针接触压电材料时，在探针—样品之间施加交流电压，通过微悬臂弯曲量的变化检测压电材料对施加电压的响应。



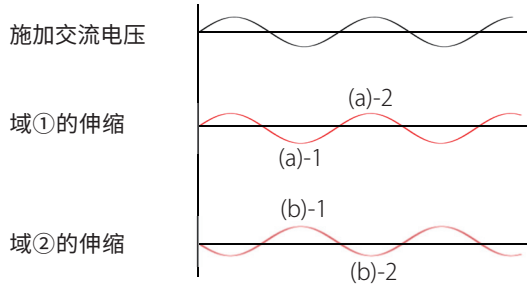
压电材料收缩时，激光在检测器的入射位置向下移动

图 3 压电材料的伸缩检测示意图

将通过上述方法检测的压电材料伸缩作为输入信号，施加交流电压作为参考信号，进行锁相检测，测定局部域垂直方向相对于施加电压的响应。膨胀 / 收缩的方向和幅度分别由相位信号和幅度信号评估。图 4(a)、(b) 为在呈现不同响应的域①、②中，分别在探针侧施加负极电压、在样品侧施加正极电压时的 (a)-1、(b)-1，和在探针侧施加正极电压、在样品侧施加负极电压时的 (a)-2、(b)-2 的局部图像。此时图 4 中红色所示部分为检测出的振幅信号。


 图 4 压电材料相对于施加电压的伸缩与振幅信号的关系  
(a) 域①、(b) 域②

如图 5 所示, 相位信号在域①和域②中检测出的值相差 180°。



域①与域②中相应为逆相位 (相差 180°)

图 5 外加电压下压电材料的伸缩与相位信号的关系

## LiNbO<sub>3</sub> 单晶体的压电响应测定

测定了具有不同极化域的 LiNbO<sub>3</sub> 单晶体垂直方向上的压电响应, 其极化域是以 10 μm 跨距排布的 (图 6)。测定条件如表 1 所示。

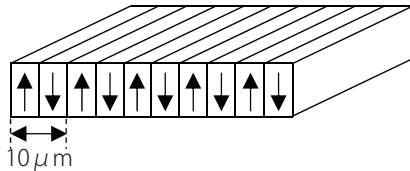


图 6 LiNbO<sub>3</sub> 单晶体的极化域结构

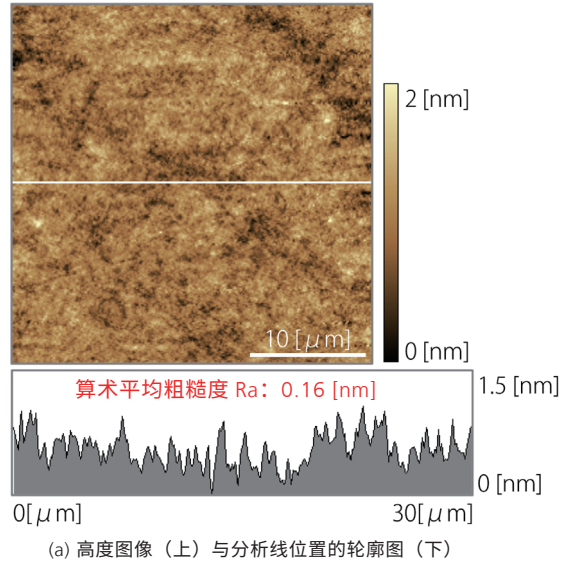
表 1 观察条件

装置	: 扫描探针显微镜 SPM-Nanoa
扫描器	: 广域扫描器 (125 μm)
观察模式	: PFM 模式
观察视野	: 30 μm × 30 μm

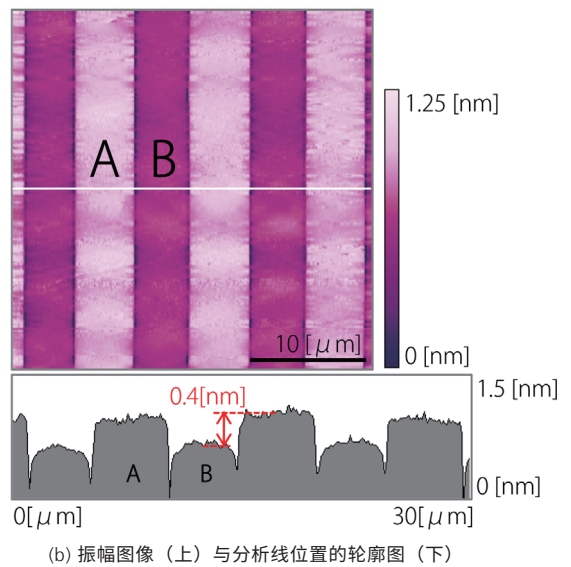
图 7 为测试结果。在图 7(a) 中观察了 LiNbO<sub>3</sub> 表面的粗糙度。在形貌图中, 没有观察到表明极化畴的形貌, 甚至无法确定畴分布, 更不用说 LiNbO<sub>3</sub> 的压电特性。图 7(b), 测量了施加交流电压下 LiNbO<sub>3</sub> 的膨胀 / 收缩幅度。发现对于同一施加电压, 域 A 比域 B 的伸缩更大。通过 SPM-Nanoa 先进的高灵敏度检测系统, 清晰地捕捉到仅有 0.4 nm 的振幅差异。图 7(c) 中, 测量了 LiNbO<sub>3</sub> 对施加的交流电压的响应。域 A 和域 B 的相位相差 180°, 表明这些域具有相反方向的极化特性。

## 结论

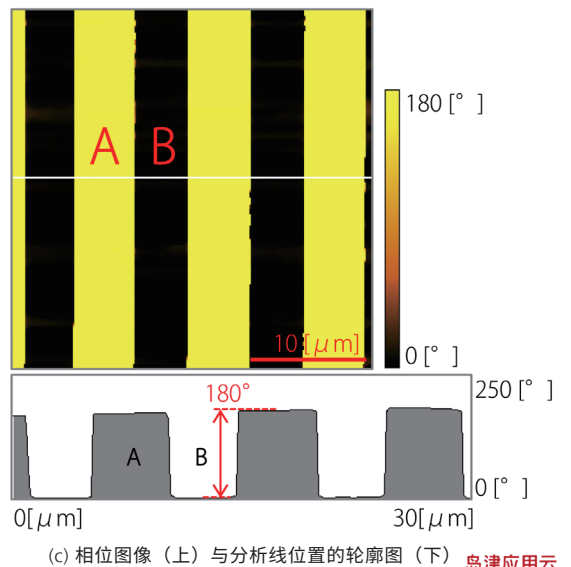
使用 SPM 可以获取到 LiNbO<sub>3</sub> 单晶体在微观区域的极化域分布情况, 以及各域对施加电压的响应。本文虽然只介绍了捕捉垂直方向压电响应的案例, 水平方向 (扭曲) 上压电响应也可进行同样的测定。结合垂直方向与水平方向的测定结果进行观察, 可更加详细地评估样品的压电响应。



(a) 高度图像 (上) 与分析线位置的轮廓图 (下)



(b) 振幅图像 (上) 与分析线位置的轮廓图 (下)



(c) 相位图像 (上) 与分析线位置的轮廓图 (下)

图 7 LiNbO<sub>3</sub> 单晶体的压电响应测定结果

岛津应用云



SPM-Nanoa 是岛津制作所株式会社在日本和其他国家的商标。



岛津企业管理 (中国) 有限公司  
岛津 (香港) 有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话: 800-810-0439  
400-650-0439

免责声明:

\* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售;  
\* 本资料中的所有信息仅供参考, 不予任何保证。  
如有变动, 恕不另行通知。

第一版发行日: 2021 年 3 月