

编号：

哈尔滨工业大学

大一年度项目立项报告

项目名称： 利用超旋液晶探测极性氧化物表面的光致电场

项目负责人： 朱兆彬 学号： 1190600606

联系电话： 电子邮箱：

院系及专业： 工科试验班（数学物理与光电科学）

指导教师： 张景文 职称： 教授/博士生导师

联系电话： 电子邮箱

院系及专业： 物理学院

哈尔滨工业大学基础学部制表

填表日期： 2019 年 11 月 1 日

一、 项目团队成员

| 姓名 | 性别 | 所在院系 | 学号 | 联系电话 | 本人签字 |
|-----|----|-----------|------------|------|------|
| 朱兆彬 | 男 | 数学物理与光电科学 | 1190600606 | | 朱兆彬 |
| 李雨萌 | 女 | 数学物理与光电科学 | 1190600510 | | 李雨萌 |
| 李晨 | 女 | 数学物理与光电科学 | 1190600604 | | 李晨 |
| 赵博超 | 女 | 数学物理与光电科学 | 1190600118 | | 赵博超 |
| 关嘉伟 | 男 | 数学物理与光电科学 | 1190600605 | | 关嘉伟 |

二、 指导教师意见

签字：

日期：

三、 项目专家组意见

批准经费：元

组长签名：

(学部盖章)：

日期：年 月 日

四、 立项背景

（一）关于体光伏效应研究现状

含有铁杂质的 LiNbO_3 中，在 Li 位点上均包含 Fe^{2+} 缺陷离子的极性材料 LiNbO_3 (LN) 的均匀照明会产生稳定的短路电流^[1]。由于它在均匀晶体的主体中流动，因此在没有空间不均匀性的情况下，这归因于整体光伏效应。

在众多的光伏材料中，铁电体材料由于具有反常的光伏效应而备受关注。半个世纪以前，人们在具有非中心对称的各种铁电材料中已经发现了铁电光伏材料沿着极化的方向能产生稳定的光伏效应。一般认为，铁电材料的光伏效应起源于其自发极化，铁电光伏的显著特点之一就是当极化方向在电场作用下转变的时候，光生电流也随之发生转变，而且在铁电材料内部光生电流的方向始终与极化方向相反。光生电压产生于铁电材料的内部，因此称为体光伏效应，铁电材料则作为电流源^[2]。

（二）关于界面的研究现状

随着外延生长和单原子层沉积等精确制备技术的不断推进，现在材料科技工作人员可以实现原子尺度上对氧化物异质结构的实现剪裁与调控，进而可以高度重复性制备近乎完美的氧化物界面。从基础科学和应用的角度来看，氧化物界面已在全球引起越来越多的关注，因为可以在那些界面上形成 2D 电子气 (2DEG)。通过大量观察，人们预见到在氧化物界面形成的 2DEG 系统是光子发展中的理想平台，可以利用这层自由电子气体在氧化物异质界面上设计出一些先进的电子器件与纳米光子学器件，但是目前关于氧化物界面上光学性质的研究很少^{[3][4]}。

（三）研究意义

在探索氧化物界面电学与光学特性方面，光致电场的探测至关重要。例如选择极性强的 Z-切割掺铁铌酸锂(Fe: LN)与广泛使用的简并半导体氧化物氧化锡铟 (ITO) 结合，由于掺铁的 LN 板具有很强的体光伏效应和电光效应，因此可以很容易地写入相位光栅，进而可以激发可见光波段的表面等离激元，从而在亚波长(SWL)尺度上耦合光束之间的能量^{[4][5]}。在这种氧化物结构中，光致电场对于表面位相光栅的记录的重要性使得我们有必要直接探测之。因此，我们希望找到直接、实时观测光致电场的新途径。众所周知，液晶材料的低压响应与低能耗使其在显示方面大显身手^[6]。如果能将液晶材料直接接触到氧化物表面，我们可以利用没有掺杂的高纯度的液晶对光致电场的响应，高灵敏，高精度的实时读取电场的幅值与变化动态。

（四）项目研究的前景——为研制高灵敏传感器奠定理论和实验基础

本课题中采用液晶对光致电场的响应，高灵敏，高精度的实时读取电场的幅值与动态变化。此种灵敏探测光致电场的方式，除了可以探测氧化物界面电学与光学特性，还可推广至一般电场的探测，制成非接触、响应快、性能可靠的传感器，并将在工业自动化装置和机器人中拥有广泛的应用前景。

五、 研究内容及实施方案

a) 液晶盒的制作

液晶盒为本课题主要的装置，本课题要制作的液晶盒包括掺铁 LiNbO_3 、超旋液晶(STLC)与旋涂取向层的 ITO 玻璃。其中超旋液晶填充在由 z-cut 或 y-cut 掺铁 LiNbO_3 与旋涂取向层的 ITO 玻璃所制作的空盒内。

研究过程中，需要将液晶盒置放在两片偏振片之间，用一束短波光辐照铌酸锂，从而产生光致电场，并用另一束在铌酸锂样品上无吸收的近红外光通过短波光照区。通过检测液晶材料在光致电场作用下的对红外光的偏振的影响，来间接获取光致电场的相关数值与动态。下面，先对主要部件与相关仪器作简要介绍。

LiNbO_3 是一种在 380nm 至 5.5 μm 波段内透明的极性氧化物,具有 ABO_3 型的晶体结构。在掺杂部分稀土与过渡性金属元素后,会显出极强的体光伏效应。它在一定波长范围内光的激发下才能产生光致电场(包括体光伏电场和热释电电场),即只有能被它吸收的光才能使它产生电场,不能被它吸收的光不能使它产生电场。

液晶是一种极性物质,具有多种光学性质。本课题主要利用液晶的使通过的光偏振态旋转的特性和电光效应^[7]。

光偏振态旋转:平面偏振光只具有在一个平面内振动的光场,当偏振光通过液晶时,偏振光的偏振面会随着液晶分子长轴方向传播。实际应用时,常利用特殊处理使液晶分子长轴方向的排列方式呈一定角度的扭转排列,于是偏振光在通过液晶分子时偏振面方向会发生旋转。

电光效应:由于液晶分子是一种极性分子,极性分子的正负电荷中心不重合,在液晶分子长轴方向上具有正、负电荷中心,且沿长轴方向排列。当在液晶分子两端加上一定的电压时,在电场的作用下,液晶分子的长轴会发生一定角度的旋转,且在一定范围内,电场越强液晶分子长轴旋转角度越大。于是液晶分子对偏振光的扭转方向会发生变化,因此外加电场对液晶分子的作用效果可以通过偏振光来检测,从而利用透过偏振片后的光来衡量电场的某些性质,这是本课题所利用液晶为实验材料的关键性因素。

超旋液晶与普通液晶相比扭转角更大,普通液晶扭转角为 90° ,而超旋液晶材料由于掺杂了手性材料致使分子层扭转角大于 90° ,通过已有的实验数据表明超旋液晶分子具有比普通液晶分子更明显的电光效应,于是可以利用超旋液晶的这一特点来提高电场变化的测量灵敏度。如图 1 所示为透光亮度与电场强度的变化关系^[6]。

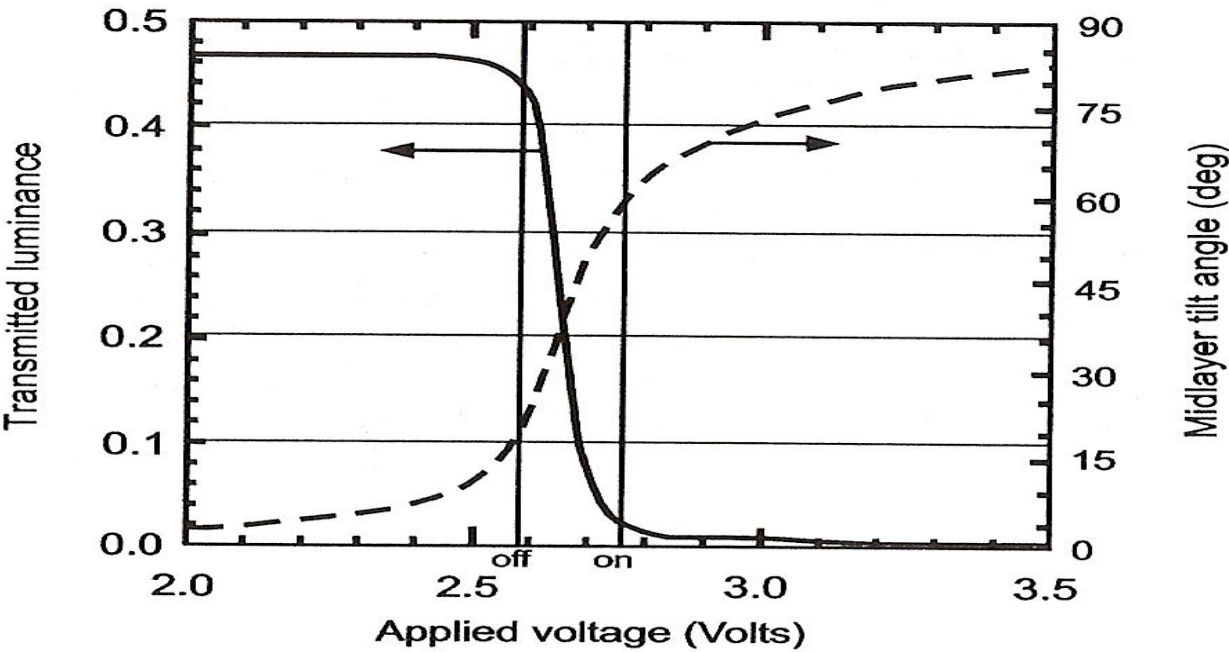


图 1.

(二) 体光伏电场的产生

目前有关体光伏电场的产生机制仍在不断探索中,关于体光伏电场是如何产生的解释也有很多种,其中一种解释为:用一定强度的激光照射含 Fe 的 LiNbO_3 晶体表面,会使部分电子从铁原子中的价带越过禁带进入能量较高的、能导电的导带,电子在光的激发下迁移时堆积在界面后会显出一个宏观电场^[1]。

(三) 光伏电场随光照变化的特性的研究

1) **实验原理:**以超旋液晶作为扭转偏振光的介质,用一定波长范围内的激光照射 LiNbO_3 使其产生电场,这时,超旋液晶分子的长轴方向会有所偏转,倾向于电场的方向,这时,若

再用一束不可被 LiNbO_3 吸收的光通过偏振片的作用后通过液晶盒，在液晶盒的作用下，偏振光在射出液晶盒后偏振面与原来相比会产生一定变化，再通过检偏器后，能通过测量通过检偏器的光照强度并与未用激光照射时的结果进行比较，可得到液晶分子扭转角的改变情况，并因此来确定激光照射下 LiNbO_3 所产生电场的强度。实验装置如图 2 所示

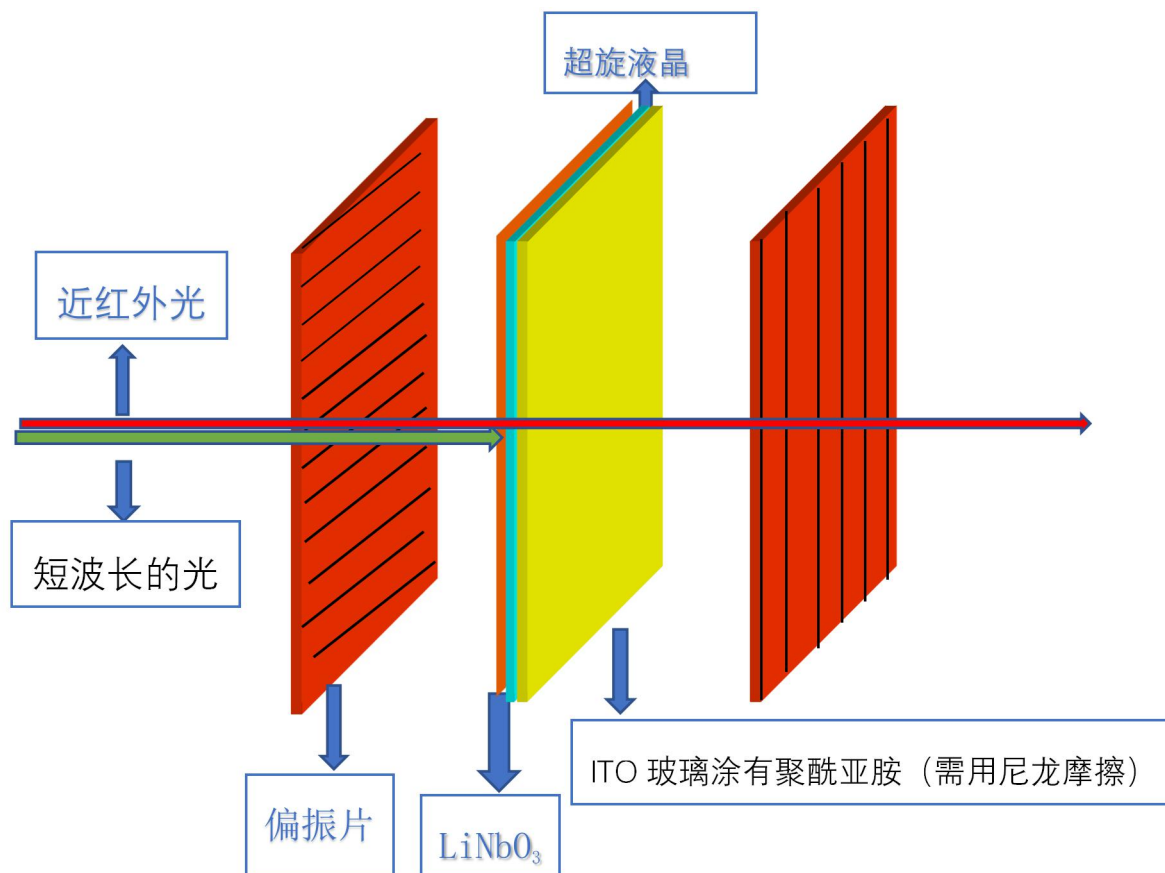


图 2.

2) 实验的干扰因素：首先，影响本课题进行测量的主要干扰因素有由于对光的吸收导致的温度升高而致热释电电场、外界光的干扰、空间电荷的影响。

温度对本实验的干扰被解释为热释电效应。在加热-冷却循环的过程中，在晶体表面的自发极性电荷与附着的异性电荷离子的平衡被打破，多余未中和的电荷会在晶体表面产生电场，而这个电场的产生也是本实验的测量目标之一。已有的文献表明，热释电电场是一个瞬态电场，在光照射一段时间后，由于热变化而产生热释电电场会消失，那么就只剩下光伏电场^[8]，这也为光伏电场的准确测量提供了依据。而对于外界光的干扰，可以让实验在黑暗条件下进行。

3) 测量方法：根据已有资料我们可以确定近红外光不能使 LiNbO_3 产生电场，使实验在一个黑暗的条件下进行，首先我们可以通过液晶盒来确定什么波长范围内的光能使掺铁的 LiNbO_3 产生电场。即利用光谱仪测量掺铁的 LiNbO_3 的吸收波长。

确定波长范围后，在黑暗环境下，利用一束短波可见光照射 LiNbO_3 使其产生光电场。对于热释电电场，在外接皮安表情况下，由以上分析知：在数字化仪器上会出现电流从峰值逐渐减小到一稳定值的过程，峰值与该稳定值之差即为热释电电流，即可测得热释电电场。

对于光伏电场，我们此时再利用近红外光照射液晶盒，在上述分析下，在检偏器处可以通过功率计来测量射出检偏器后的光照强度。而层扭转角/透射亮度与所加电压的关系可通过

计算与实验得到^[6]，本课题直接利用这一关系，即可得到对应的电压值。至此便得到极性氧化物 LiNbO_3 表面的光伏电场的强度，于是便可对体光伏电场随光波长的动态变化过程进行刻画。

六、 进度安排

| | |
|-------------|---|
| 2019 年 11 月 | 阅读相关文献，深化对本课题全面认识。 |
| 2019 年 12 月 | 利用光谱仪来测量掺铁铌酸锂材料的吸收光谱；通过使用皮安表与高压电源来测定掺铁铌酸锂的光伏与热释电电场随光照强度的关系。 |
| 2020 年 1 月 | 利用将掺铁铌酸锂材料置入盐水与去离子水中来研究光致电场对材料折射率的影响，并利用旋涂机在 ITO 玻璃上旋涂高分子材料并尝试用尼龙材料摩擦。 |
| 2020 年 3 月 | 制备超旋液晶盒，并用选择的短波光与近红外光来做光伏与热释电电场的探测尝试。 |
| 2020 年 4 月 | 制备超旋液晶盒，并用选择的短波光与近红外光来做光伏与热释电电场的探测尝试并与 2019 年 12 月所得到的光伏与热释电电场随光照强度的关系来对比，建立模型。 |
| 2020 年 5 月 | 若时间允许，进展顺利，可以探索铌酸锂与液晶界面的非线性现象。 |
| 2020 年 6 月 | 整理数据，撰写报告，准备结题答辩。 |

七、经费使用计划

| 用品 | 价格 | 总计 |
|--------|------------|-------|
| 偏振片 | 30*2 | 60 |
| PI 片 | 300 | 300 |
| AB 胶 | 17.8 | 17.8 |
| 手套 | 19.8（50 只） | 19.8 |
| ITO 玻璃 | 188 | 188 |
| 预留资金 | 150 | 150 |
| 总计 | | 735.6 |

八、参考文献

[1] A.M. Glass , D. Vonder linde ,T.J. Negran.*Highvoltage bulk photovoltaic effect and the photorefractive process in LiNbO_3* . *AIP Publishing* 1974 P233~P235.

[2] Schirmer, M. Imlau .*Bulk photovoltaic effect of $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ and its small-polaron-based microscopic interpretation*. *American Physical Society* 2011 P1~P13.

[3] HY Hwang, Y. Iwasa.*Emergent phenomena at oxide interfaces*. *Nature Materials* 2012.2 卷 11.

[4] 王英策，华昭，张景文等. *Acc umulation-layer hybridized surface plasmon polaritions at an ITO/ LiNbO_3 interface*. 《光学快报》2019.2 947~950.

[5] 王英策，华昭，张景文. *Subwavelength coupling and ultra-high exponential gain coefficient originating from 2D electron gas at ITO/ LiNbO_3 interface*. 《应用物理学杂志》2019.3 .

[6] Terry Scheffer、J’urgen Nehring. *Superwister Nematic（STN）Liquid Crystal Displays*. *Annual Reviews Inc* 1997 .

[7] Richard Herke, Michael H. Anderson, Thomas Baur. *Liquid Crystal in Precision Optical Devices*. *Meadowlark Optics Inc* 2005.

[8] N. Kukhtarev , J.D.T. Kukhtarev. *Generation of focused electron beam by pyroelectric and photogalvanic crystals*. *American Institute of Physics* 2012.