

La, Nb共掺杂BiFeO₃薄膜中的光致应变效应及应力调控*

徐悦¹⁾ 张泽宇¹⁾ 金钻明¹⁾ 潘群峰¹⁾ 林贤¹⁾ 马国宏^{1)†} 程振祥¹⁾²⁾

1)(上海大学理学院物理系, 上海 200444)

2)(澳大利亚卧龙岗大学电子材料研究所, 新南威尔士州 2500)

(2014年1月30日收到; 2014年2月27日收到修改稿)

本文利用反射式飞秒抽运-探测技术, 系统研究了飞秒激光诱导La和Nb共掺杂的铁酸铋(Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃)薄膜中纵向声学声子的动力学过程, 声学声子的产生源于光致应变效应. 实验发现不同的衬底(ZrO₂和PbMg_{1/3}Nb_{2/3}-PbTiO₃)可以调制外延生长的Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃薄膜的面外弹性系数 C_{\perp} . 此外, 通过对压电晶体衬底PbMg_{1/3}Nb_{2/3}-PbTiO₃外加电压, 实现了对薄膜应力的调制.

关键词: 飞秒抽运-探测技术, Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃薄膜, 声学声子, 应力调控

PACS: 78.47.D-, 75.85.+t, 43.35.+d, 68.35.Gy

DOI: 10.7498/aps.63.117801

1 引言

多铁材料(multiferroics)指的是同时具有铁电性与铁磁性两种以上有序参数的材料, 且磁电间存在一定的耦合, 即能在外加磁场作用下产生介电极化, 在外加电场作用下产生磁化. 近年来, 由于多铁材料可能带来新的应用前景以及隐藏在背后有趣的物理机理, 引起了学术界的广泛关注^[1-3]. 1894年, 居里预言磁电效应的存在, 从此开启了磁电材料研究的大门. 1960年, Astrove等在Cr₂O₃单晶中首次发现了多铁性^[4]. 尽管在后续的研究中陆续发现硼酸盐、稀土铁酸盐和磷酸盐等单相材料体系中, 也存在磁电效应, 然而所观察到的磁电耦合效应非常弱. 因此, 单相多铁性材料的研究进展缓慢, 严重影响了多铁材料的发展. 近年来, 由于第一原理理论计算技术上的突破, 使得理论结果可以提供多铁性材料实验发展的预测方向, 更多具有强耦合材料系统的发现又一次引起了多铁性材料的研究热潮.

单相多铁材料, BiFeO₃(BFO), 属于G型反铁磁态, 奈尔温度 T_N 约为643 K, 铁电居里温度 T_C 约为1100 K, 在室温下表现出弱的铁磁性. BFO体材料是一个三方相扭曲的钙钛矿结构, 其中自发极化沿着立方体单胞的[111]方向. 由于存在较大的铁电极化、磁电耦合和可能的的外延应力对磁电性质的调制作用, BFO备受学术界的广泛关注. 2003年, Ramesh等成功制备了具有良好的铁电性和铁磁性的铁酸铋薄膜, 并发现薄膜形式BFO的多铁性能高于块材样品^[5]. 相比于单晶样品, BFO薄膜材料的制备成本低, 更加有利于器件的研发与实际应用. 近年来, 越来越多的研究集中在BFO薄膜的非线性光学和瞬态光谱学性质的研究. 2008年, Rana等发现BFO薄膜中铁电极化的超快响应能够产生THz辐射, THz辐射与BFO薄膜的结构密切相关^[6]. 同年, Talbayev等论证光整流效应在BFO单晶中也能产生THz辐射^[7]. 2011年, Jin等运用超快光谱技术, 发现不同的衬底可以提供给薄膜不同的应力^[8].

* 国家自然科学基金(批准号: 11174195)和高等学校博士点专项科研基金(博导类)(批准号: 20123018110003)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: ghma@staff.shu.edu.cn

为了在时域上同时探测BFO体系中多个自由度的演变过程,以及各自由度之间的相互耦合,抽运探测光谱技术被广泛地应用于材料的微观动力学研究^[9-12],为研究多铁氧化物磁电耦合的微观机理提供了不可或缺的动力学信息.无论是超快激光产生THz辐射还是非线性光子学器件,都离不开对BFO薄膜中光激发的电子在亚皮秒时间尺度上与晶格相互作用的研究.瞬态反射率变化($\Delta R/R$)与介电常数 $\Delta\epsilon$ 的时间演化息息相关,在时域上直接反应电子声子的能量交换过程以及声子的激发.本文中,我们运用了反射式时间分辨抽运-探测技术,系统研究了飞秒激光诱导镧和铌共掺杂BiFeO₃薄膜中纵向声学声子的动力学过程,声学声子的产生源于光致应变效应.实验发现不同的衬底(ZrO₂和PbMg_{1/3}Nb_{2/3}PbTiO₃)可以调制外延生长的Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃薄膜的面外弹性系数 C_{\perp} .另外,通过对压电晶体PbMg_{1/3}Nb_{2/3}PbTiO₃外加电压,实现了对薄膜的应力调制.

2 实验描述

薄膜由脉冲激光沉积系统(PLD)制备,脉冲激光光源为355 nm,重复频率为10 Hz. Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃(BLFNO)薄膜沉积温度为550 °C,背景氧压为20 mtorr,衬底分别为(001)-ZrO₂(YSZ), (110)-PbMg_{1/3}Nb_{2/3}PbTiO₃(PMNT)和(100)-PbMg_{1/3}Nb_{2/3}PbTiO₃(PMNT).薄膜厚度为150 nm ± 30 nm.

实验采用标准的反射式光抽运-探测实验装置.钛宝石飞秒激光器(Mai Tai HP 1020)的飞秒种子光脉冲(100 fs, 80 MHz)注入到放大器(Spectra-Physics, Spitfire Pro.)中,输出能量为3 mJ,中心频率为800 nm,脉冲宽度为120 fs,重复频率为1 kHz的飞秒激光脉冲.使用分束镜将激光分成两束.其中强度高的一束经过BBO晶体倍频后成为抽运光(400 nm),强度低的一束成为探测光(800 nm),抽运光与探测光的强度比大于50 : 1.在探测光路上安置精密的光学延迟线,使抽运光脉冲相对于探测光脉冲延迟时间 Δt .通过一焦距为50 cm的透镜,使抽运光与探测光在样品表面重合.抽运光的光斑尺寸约为500 μm ,其功率密度约为0.7 mJ/cm².用硅光电探测器获取从样品反射的探测

光的强度变化.配合使用斩波器(斩波频率为490 Hz)与锁相放大器(Lock-in),以提高实验的信噪比.

3 实验结果与讨论

图1(a)和(c)分别是生长在不同衬底PMNT(100)和YSZ(001)上的BLFNO薄膜典型的瞬态反射率曲线($\Delta R/R$).对于400 nm的抽运光,BFO薄膜的趋肤深度 ξ 约为40 nm^[13],我们观察到的信号为薄膜的瞬态反射率变化.在0 ps处的上

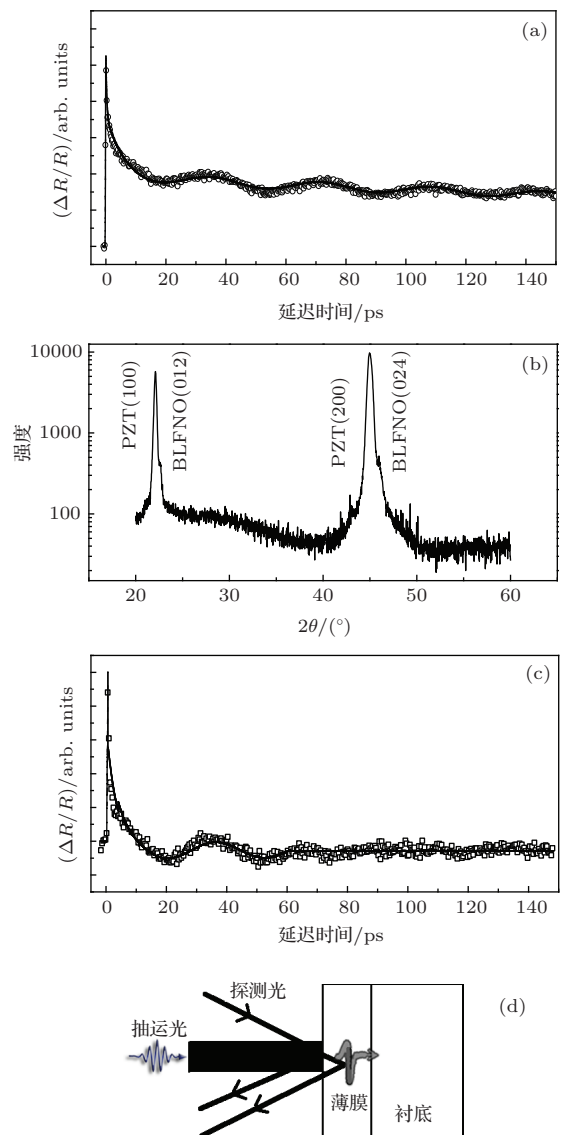


图1 (a) 400 nm抽运光激发下,生长在PMNT(100)衬底上的BLFNO薄膜的瞬态反射率变化 $\Delta R/R$ (圆圈为实验数据,直线为拟合数据);(b)生长在PMNT(100)衬底上的BLFNO薄膜的XRD;(c) 400 nm抽运光激发下,生长在YSZ(001)衬底上的BLFNO薄膜的瞬态反射率变化 $\Delta R/R$ (方框为实验数据,直线为拟合数据);(d)抽运-探测实验和应力波传播模式示意图

升信号对应于 400 nm 抽运脉冲所激发电子的跃迁, 观察到的激发是电子从氧原子的 2p 价带到 Bi 的 p 导带的转移跃迁^[14,15]. 紧随初始的上升过程, $\Delta R/R$ 包含三个的弛豫过程: 1 ps 左右的快过程, 对应于电子声子相互作用 (τ_{e-l}), 可以归结为激发的热电子把能量传递给晶格; 几十 ps 的慢过程, 对应于声子-自旋系统相互作用 (τ_{s-l}) 时间; 在 BLFNO 薄膜中, 弛豫过程中存在振荡分量, 对应于超快光激发的声学声子. 通过退卷积对实验数据进行拟合, 我们得到了 (100)PMNT 衬底和 (001)YSZ 衬底上 BLFNO 薄膜的电子-声子弛豫时间分别为 1.1 ps 和 0.9 ps.

除了通过载流子的弛豫过程研究 BFO 的瞬态光谱特性^[16], 研究人员越来越重视光诱导效应与铁电、铁磁和铁弹等特性的耦合. Kundys 等研究了光与 BFO 力学自由度的耦合, 发现了 BFO 单晶波长依赖的尺寸变化, 这一现象被称为光致应变效应 (photostriction)^[17]. 室温下 BFO 单晶中的光致应变效应已经开始得到学术界的重视, 光与铁弹动态耦合效应的研究是深入理解光致应变效应的物理基础. Chen 等早期的研究已经发现, 镧 (La) 和铌 (Nb) 共掺杂的 BFO 薄膜 $\text{Bi}_{0.8}\text{La}_{0.2}\text{Fe}_{0.99}\text{Nb}_{0.01}\text{O}_3$ (BLFNO) 相比于本征 BFO 薄膜, 表现出更强的电极化特性^[18]. 因此共掺杂的 BLFNO 薄膜的光致应变效应可能同样会得到加强. 对于非中心对称材料, 电磁场与物质相互作用的二阶非线性极化 $P^{(2)}(t)$ 可以表示为

$$P^{(2)}(t) = \varepsilon_0 \chi^{(2)} E(t) E^*(t) = P_0^{(2)}(t) + P_{2\omega}^{(2)}(t), \quad (1)$$

其中, ε_0 为真空介电常数, $\chi^{(2)}$ 是二阶非线性极化率. $E(t)$ 和 $E^*(t)$ 分别是光的电场分量及其共轭项. (1) 式中等号右边的第一项为光诱导的直流极化项, 对应光整流效应; 第二项与材料的二次谐波产生相关^[19]. 由于电致伸缩效应, 二阶极化的直流项 $P_0^{(2)}(t)$ 会导致晶格畸变, 从而产生纵向声学声子波^[20]. 当这一应力波传播通过样品, 探测光脉冲在与行进的应力波相互作用后, 将发生多普勒频移, 类似于受激布里渊散射. 因此, 通过扫描抽运脉冲与探测脉冲间的时间延迟, 可以获得纵向声学声子的传播特性. 图 1 (d) 描绘了光诱导纵向声学声子的传播与探测.

扣除数据中双指数的弛豫本底后, 可以清晰得到其振荡部分, 如图 2 (a)—(c) 空点所示. 通过快

速傅里叶变换, 可以观察到在 34.7 GHz, 29.8 GHz, 30.2 GHz 三处有峰, 分别对应于 (001)-YSZ, (110)-PMNT 和 (100)-PMNT 衬底上的 BLFNO 薄膜, 如图 2 (d)—(f) 所示. 实验中, 振荡频率不随激发光能量密度的变化而变化, 其振幅正比于抽运光能量密度, 这些振动被指认为纵向声学声子. 在 [010] 取向的斜方六角结构 BFO 单晶中也发现了频率为 36 GHz 的纵向声学模式. 然而, 在薄膜样品中, 我们并没有观察到在 BFO 单晶中所发现的频率为 12.5 和 20 GHz 的横向声学模式^[21].

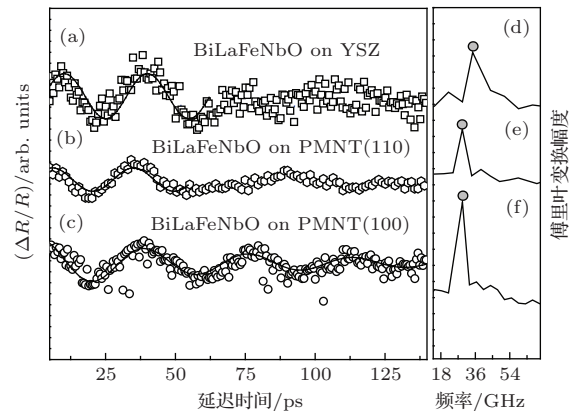


图 2 (a) (001)-YSZ; (b) (110)-PMNT 和 (c) (100)-PMNT 衬底上 BLFNO 薄膜 $\Delta R/R$ 的振荡部分 (空心点为实验数据, 实线为拟合数据); (d)—(f) 为扣除载流子弛豫背景后振荡部分的傅里叶变换光谱 (空心圆圈为振荡数据快速傅里叶变换频率)

振荡信号可以通过带有阻尼项的谐波方程进行拟合

$$\Delta R(t)/R \propto A \cos(2\pi t/T + \varphi) \exp(-t/\tau), \quad (2)$$

式中, A , T , τ 和 φ 分别代表振荡振幅, 振荡周期, 衰减时间和相位. 图 2 (a)—(c) 中的黑色实线为 (2) 式的拟合结果. 通过拟合, 我们得到了三种衬底上 BLFNO 薄膜的振荡频率, 并在图 2 (d)—(f) 中以圆圈标识. 根据应力波传播模式, 样品的声速可以表示为

$$v_{\text{Sound}} = \lambda_{\text{probe}}/2T \sqrt{n_{\text{probe}}^2 - \sin^2(\theta)},$$

n_{probe} , θ , T , λ_{probe} 分别表示为样品对探测光的折射率, 探测光入射角度, $\Delta R/R$ 的振荡周期和探测光波长. 本实验中, 入射角 θ 近似为 0° , 因此上述声速方程可以简化为

$$v_{\text{Sound}} = \lambda_{\text{probe}}/2T n_{\text{probe}}.$$

值得一提的是, 对于 800 nm 的探测光而言, 其趋肤深度远远大于 BLFNO 薄膜的厚度. 因此, 还可以

探测到应力波通过BLFNO薄膜和衬底的界面传入衬底的情况,如图2(a)和(b)所示.当应力波穿过薄膜与衬底的界面时,可以观察到振荡的幅度和频率发生了明显的变化.由此我们认为,应力波在薄膜中的传播时间为60 ps左右.60 ps以后的振荡来源于应力波在衬底中的传播.

掺杂铁酸铋薄膜的折射率指数范围: $n = 2.1\text{--}2.5$ [22].根据声速公式,可以估算不同衬底上掺杂BFO薄膜中的声速.BLFNO/YSZ的 $v_{\text{Sound}} = 5552\text{--}6609 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,BLFNO/PMNT(110)的 $v_{\text{Sound}} = 4768\text{--}5676 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,BLFNO/PMNT(100)的 $v_{\text{Sound}} = 4832\text{--}5752 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.通过纵向声波的传播速度和材料的质量密度,可以获得材料的面外纵向弹性常数, $C_{\perp} = \rho(v_{\text{sound}})^2$ [23].假设 $\rho_{\text{BFO}} = 8340 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,可以估算不同衬底上,掺杂铁酸铋薄膜的 C_{\perp} 值.薄膜的弹性常数 C_{\perp} 与薄膜应力存在紧密的联系.尽管折射率指数的取值范围较大,导致 C_{\perp} 有约30%的不确定度,但仍然可以观察到 C_{\perp} 具有明显的衬底依赖关系,在YSZ,PMNT(110)和PMNT(100)衬底上的 C_{\perp} 分别为257—364 GPa,189—268 GPa和194—276 GPa.发现YSZ衬底上外延生长BLFNO薄膜的 C_{\perp} 明显大于在PMNT(110)和PMNT(100)衬底上多晶BLFNO薄膜的 C_{\perp} .不同的衬底可以有效地调控BLFNO薄膜的应力.

最近研究发现,外延生长的复杂氧化物薄膜拥有良好的应力状态.Thiele通过实验发现,应力效应可以改变超导体的相变温度[24].在二相的多铁材料中,材料的磁化与铁电性引起的应力耦合,可以引起巨大的磁电耦合效应[25].在许多强关联氧化物中,电导率对于应力的变化是十分敏感的[26].因此,实现应力的调控至关重要.如上所述,通过变换不同的衬底,可以实现对薄膜应力的调控.这里我们提供一种新的调控应力的方法,通过外电场控制压电衬底的形变,为BLFNO薄膜提供不同的应力,如图3(b)所示.我们选取生长在(100)取向的PMNT压电晶体上的BLFNO薄膜,当沿着PMNT的(100)方向外加电压时,导致沿(100)方向会发生较大形变.利用反射式时间分辨光谱技术,可以研究不同外加电压下纵向声学声子的动力学过程.在扣除基底信号后,图3(a)分别为加30 V和0 V电压后BLFNO薄膜瞬态反射率 $\Delta R/R$ 的振

荡部分,这里我们只选取应力波在薄膜中的时间传输范围(1—60 ps).通过对数据(1—60 ps)的快速傅里叶变换,我们发现振荡的振幅和频率发生了变化,如图3(c)所示.根据声速公式,可得到15 V时BLFNO薄膜的

$$v_{\text{Sound}} = 5216\text{--}6209 \text{ ms}^{-1},$$

30 V时 $v_{\text{Sound}} = 5344\text{--}6361 \text{ ms}^{-1}$.代入纵向弹性常数方程,可以得到外加0 V,15 V和30 V电压后BLFNO薄膜的 C_{\perp} 分别为194—276 GPa,227—321 GPa和238—337 GPa.通过外加电压,有效的调控了薄膜的应力.对基于铁酸铋薄膜微纳材料的应用提供了良好的实验基础.就应用角度考虑,光与材料力学自由度的超快耦合对未来实现光驱动远程无线器件,传感器和其他光机械微/纳系统起到指导作用.

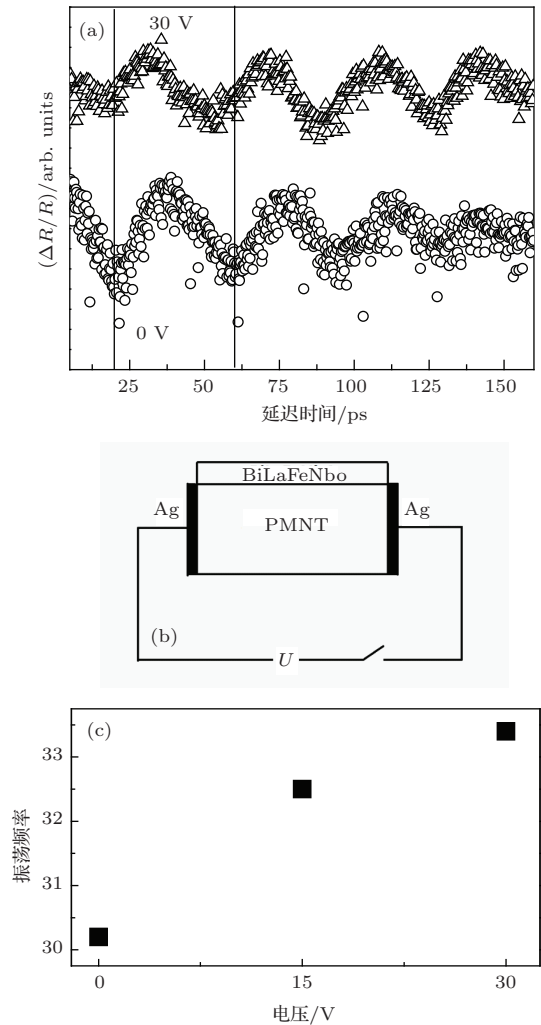


图3 对于(100)-PMNT衬底上BLFNO薄膜,(a)为加30 V和0 V电压后薄膜瞬态反射率 $\Delta R/R$ 的振荡部分;(b)加电压示意图;(c)给压电衬底外加不同电压,薄膜布里渊频率的变化

4 结 论

本文利用反射式时间分辨光谱技术, 系统研究了飞秒激光诱导镧和铋共掺杂 BiFeO_3 薄膜中纵向声学声子的动力学过程, 超快光致应变起源于光学整流效应和电致伸缩效应的叠加. 实验发现不同的衬底 (ZrO_2 和 $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{-PbTiO}_3$) 可以调制外延生长的 $\text{Bi}_{0.8}\text{La}_{0.2}\text{Fe}_{0.99}\text{Nb}_{0.01}\text{O}_3$ 薄膜的面外弹性系数 C_{\perp} . 通过对压电晶体衬底 $\text{Pb-Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{-PbTiO}_3$ 外加电压, 实现了对薄膜应力的调制. 对基于铁酸铋薄膜微纳材料的应用提供了良好的实验基础. 就应用角度考虑, 光与材料力学自由度的超快耦合对未来实现光驱动的远程无线器件, 传感器和其他光机械微/纳系统起到指导作用.

参考文献

- [1] Kimura T, Goto T, Shintani H, Ishizaka K, Arima T, Tokura Y 2003 *Nature* **426** 55
- [2] Lottermoser A T, Lonkai T, Amann U, Hohlwein D, Ihringer J, Fiebig M 2004 *Nature* **430** 541
- [3] Eerenstein W, Mathur N D, Scott J F 2006 *Nature* **442** 759
- [4] Astrov D N 1960 *Sov. Phys. JETP* **11** 708
- [5] Wang J, Neaton J B, Zheng H, Nagarajan V, Ogale S B, Liu B, Viehland D, Vaithyanathan V, Schlom D G, Waghmare U V, Spaldin N A, Rabe K M, Wuttig M, Ramesh R 2003 *Science* **299** 1719
- [6] Rana D S, Kawayama I, Mavani K, Takahashi K, Murakami H, Tonouchi M 2009 *Adv. Mater.* **21** 2881
- [7] Talbayev D, Lee S, Cheong S W, Taylor A J 2008 *Appl. Phys. Lett.* **93** 212906
- [8] Jin Z M, Xu Y, Zhang Z B, Lin X, Ma G H, Cheng Z X, Wang X L 2012 *Appl. Phys. Lett.* **101** 242902
- [9] Jin Z M, Guo F Y, Ma H, Wang L H, Ma G H, Chen J Z 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 087803 (in Chinese)[金钻明, 郭飞云, 马红, 王立华, 马国宏, 陈建中 2011 物理学报 **60** 087803]
- [10] Xu Y, Jin Z M, Li G F, Zhang Z B, Lin X, Ma G H, Cheng Z X 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 177802 (in Chinese)[徐悦, 金钻明, 李高芳, 张郑兵, 林贤, 马国宏, 程振祥 2012 物理学报 **61** 177802]
- [11] Zhang Z B, Ma X B, Jin Z M, Ma G H, Yang J B 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 097401 (in Chinese)[张郑兵, 马小柏, 金钻明, 马国宏, 杨金波 2012 物理学报 **61** 097401]
- [12] Xu Y, Jin Z M, Zhang Z B, Zhang Z Y, Lin X, Ma G H, Cheng Z X 2014 *Chin. Phys. B* **23** 044206
- [13] Sheu Y M, Trugman S A, Park Y S, Lee S, Yi H T, Cheong S W, Jia Q X, Taylor A J, Prasankumar R P 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 242904
- [14] Ramirez M O, Kumar A, Denev S A, Podraza N J, Xu X S, Rai R C, Chu Y H, Seidel J, Martin L W, Yang S Y, Saiz E, Ihlefeld J F, Lee S, Klug J, S. Cheong W, Bedzyk M J, Auciello O, Schlom D G, Ramesh R, Orenstein J, Musfeldt J L, Gopalan V 2009 *Phys. Rev. B* **79** 224106
- [15] Wang H, Zheng Y, Cai M Q, Huang H, Chan H L W 2009 *Solid State Commun.* **149** 641
- [16] Sheu Y M, Trugman S A, Park Y S, Lee S, Yi H T, Cheong S W, Jia Q X, Taylor A J, Prasankumar R P 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 242904
- [17] Kundys B, Viret M, Meny C, Costa V Da, Colson D, Doudin B 2012 *Phys. Rev. B* **85** 092301
- [18] Cheng Z X, Wang X, Dou S, Kimura H, Ozawa D 2008 *Phys. Rev. B* **77** 092101
- [19] Yokota H, Haumont R, Kiat J M, Matsuura H, Uesu Y 2009 *Appl. Phys. Lett.* **95** 082904
- [20] Chen L Y, Yang J C, Luo C W, Laing C W, Wu K H, Lin J Y, Uen T M, Juang J Y, Chu Y H, Kobayashi T 2012 *Appl. Phys. Lett.* **101** 041902
- [21] Ruello P, Pezeril T, Avanesyan S, Vaudel G, Gusev V, Infante I C, Dkhil B 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 212906
- [22] Gaur A, Singh P, Choudhary N, Kumar D, Shariq M, Singh K, Kaur N, Kaur D 2011 *Physica B* **406** 1877
- [23] Pace N G, Saunders G A 1971 *J. Phys. Chem. Solids* **32** 1585
- [24] Thiele C, Dörr K, Fähler S, Schultz L, Meyer D C, Levin A A, Pauffer P 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 262502
- [25] Eerenstein W, Wiora M, Prieto J L, Scott J F, Mathur N D 2007 *Nature Mater.* **6** 348
- [26] Rata A D, Herklotz A, Nenkov K, Schultz L, Dörr K 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 076401

Transient photostriction and strain modulation in La, Nb-codoped BiFeO₃ thin films*

Xu Yue¹⁾ Zhang Ze-Yu¹⁾ Jin Zuan-Ming¹⁾ Pan Qun-Feng¹⁾ Lin Xian¹⁾
Ma Guo-Hong^{1)†} Cheng Zhen-Xiang¹⁾²⁾

1) (Department of Physics, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

2) (Institute for Superconductor and Electronic Materials, University of Wollongong, North Wollongong, NSW 2500, Australia)

(Received 30 January 2014; revised manuscript received 27 February 2014)

Abstract

Coherent longitudinal acoustic phonons in Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃ (BLFNO) films are photo-induced and detected by the femtosecond time-resolved reflectance spectroscopy. The generation mechanism of coherent longitudinal acoustic phonons is attributed to the transient photostriction effect. The strain modulation of the out-of-plane elastic properties C_{\perp} is realized in BLFNO films deposited on different substrates (ZrO₂ and PbMg_{1/3}Nb_{2/3}-PbTiO₃). Strain modulation of the thin film is demonstrated by applying an electromotive force on the piezoelectric substrate PbMg_{1/3}Nb_{2/3}-PbTiO₃.

Keywords: femtosecond pump-probe technology, Bi_{0.8}La_{0.2}Fe_{0.99}Nb_{0.01}O₃ thin film, acoustic phonon, strain modulation

PACS: 78.47.D-, 75.85.+t, 43.35.+d, 68.35.Gy

DOI: 10.7498/aps.63.117801

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11174195), and the Ph.D. Programs Foundation of Ministry of Education of China (Grant No. 20123108110003).

† Corresponding author. E-mail: ghma@staff.shu.edu.cn