**Время-разрешённая рентгено-дифракционная диагностика лазерно-индуцированной динамики решетки кристалла**

***Обыденнов Н.Н.*1,\* , *Пиляк Ф.С.*2,3,\*\*, *Ашарчук Н.М.* 2,\*\***

\**студент,* \*\**аспирант*

1 *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*физический факультет, Москва, Россия*

2 *Курчатовский Комплекс Кристаллография и Фотоника, НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, Россия*

3 *Курчатовский Комплекс Синхротронных и Нейтронных Исследований, НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия*

*E–mail: [obydennov.nn20@physics.msu.ru](mailto:obydennov.nn20@physics.msu.ru)*

За счет стремительного развития источников рентгеновского излучения (лазерно-плазменных источников, синхротронов, лазеров на свободных электронах) возможности проведения рентгено-оптических экспериментов существенно выросли. В экспериментальной схеме накачка-зондирование, в рамках которой интенсивный лазерный импульс, воздействуя на кристаллическую решетку твердого тела, вызывает такие процессы, как фотоиндуцированный пьезоэлектрический эффект, фазовые переходы, ударные волны и др. [[3](#s3)]. Использование рентгеновского излучения в качестве зондирующего импульса позволяет проводить измерения с высоким пространственным и временным разрешением.

Контролируемое формирование деформаций является перспективным способом управления физическими свойствами функциональных материалов, что открывает возможности создания нового поколения энергоэффективных сенсоров, быстродействующих вычислительных устройств, а также систем хранения информации [[1](#s1)]. Создание деформаций в приповерхностных слоях кристаллов с высокой пространственной локализацией может осуществляться за счет различных внешних воздействий.

Один из возможных способов эффективного, быстрого и бесконтактного управления деформациями основан на комбинации объемного фотовольтаического (ОФЭ) и обратного пьезоэлектрического эффектов – пьезофотовольтаическом эффекте (ПФВЭ). Электрическое поле ОФЭ имеет определенную направленность, а его параметры (область локализации, напряженность электрического поля, время формирования) могут контролироваться за счет управления параметрами лазерной системы возбуждения. Это позволяет с помощью ПФВЭ формировать в кристалле заданные деформации [[2](#s2)].

При помощи рентгеновского излучения становится возможным исследовать быстропротекающие процессы на атомарном уровне. В частности, производить прямые измерения колебаний кристаллической решетки, индуцированных лазерным воздействием в пьезоэлектриках.

В качестве объекта исследования для данной работы были выбраны номинально чистый LiNbO3 и легированный железом LiNbO3:Fe (Fe wt 0.1% Fe2O3). Экспериментальная установка была собрана на базе экспериментальной станции рентгеновской кристаллографии и физического материаловедения (РКФМ) Курчатовского источника синхротронного излучения КИСИ-Курчатов (НИЦ «Курчатовский институт»). Для оптического воздействия использовался импульсный лазерный модуль Quantel Brio с длиной волны λ = 532 нм, максимальной энергией лазерного импульса 26 мкДж длительностью ~ 4 нс.

В результате были получены кривые дифракционного отражения рентгеновского излучения от поверхности образца. Для анализа полученных результатов были построены интеграл кривой (сумма произведений интенсивности на угол отраженного рентгеновского излучения, на графике красным цветом) и центр масс (интеграл, поделенный на сумму интенсивностей, на графике черным цветом).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Рисунок 1.** Кривые дифракционного отражения для LiNbO3:Fe с нанесенными зависимостями их интеграла и центра масс. | **Рисунок 2.** Кривые дифракционного отражения для LiNbO3 с нанесенными зависимостями их интеграла и центра масс. |

Как видно из графиков, кристаллическая решетка реагирует на оптическое воздействие спустя ~10 нс после лазерного воздействия (время воздействия обозначено белым пунктиром). В этот момент наблюдается сдвиг положения пика кривой дифракционного отражения из-за деформации кристаллической решетки, а также уменьшение интегральной интенсивности этого пика из-за разупорядочения атомов в решетке. Через ~30 нс параметры дифракционной кривой возвращаются к исходному состоянию. Полученные результаты позволяют сделать вывод о формировании и последующем распаде двойного электрического слоя в кристалле вследствие направленной миграции фотоэлектронов, вызванной ОФЭ. Временной сдвиг указывает на формирование упругой волны деформации из-за ПФВЭ, которая приводит к снижению интегральной интенсивности, а также резкому смещению «центра масс» кривой дифракционного отражения.

Работа проведена в рамках гранта РНФ № 23-73-00039.

**Литература**

1. Бухараев А. А. и др. Стрейнтроника—новое направление микро-и наноэлектроники и науки о материалах //Успехи физических наук. – 2018. – Т. 188. – №. 12. – С. 1288-1330.
2. Pilyak F. S. et al. Bulk piezo-photovoltaic effect in LiNbO3 //Physica B: Condensed Matter. – 2021. – Т. 604. – С. 412706.
3. Potemkin F. V. et al. Hybrid x-ray laser-plasma/laser-synchrotron facility for pump–probe studies of the extreme state of matter at NRC “Kurchatov Institute” //Review of Scientific Instruments. – 2021. – Т. 92. – №. 5.