

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кубасова Ильи Викторовича  
на тему «Закономерности формирования доменной структуры в  
монокристаллических пластинах ниобата лития при сегнетоэлектрическом  
фазовом переходе»,  
представленной на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Сегнетоэлектрические монокристаллы ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) играют в интегральной и силовой оптике важнейшую роль, сравнимую с ролью, которую играет кремний в электронике. И аналогично кремнию, который в определенный момент истории наряду с использованием в качестве компонента интегральных схем стал выполнять функции механического устройства в МЭМС-приборах,  $\text{LiNbO}_3$ , являющийся пьезоэлектрическим материалом, активно исследуется с целью таких «нестандартных» приложений, как механоэлектрические преобразователи (сенсоры и актюаторы). Диссертационная работа Кубасова И. В. является важным шагом на этом пути. Разработанные в ней технологические приемы стабилизации бидоменной структуры путем применения источников или геттеров оксида лития ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) позволяют получать монокристаллические биморфы, обладающие чрезвычайно высокими коэффициентом преобразования электрического сигнала в механическое перемещение и наоборот и температурной стабильностью. Известная ранее методика формирования бидоменной структуры в кристаллах  $\text{LiNbO}_3$  требовала длительных отжигов с выдержкой вблизи точки Кюри протяженностью не менее 5 часов, в то время как предложенный в работе Кубасова И. В. подход позволяет сократить это время до 30 минут.

Автором впервые было обнаружено, что даже при несимметричных условиях ин- или аут-диффузии  $\text{Li}_2\text{O}$  за относительно короткий промежуток времени происходит симметризация профиля концентрации структурного лития в пластине  $\text{LiNbO}_3$ . Влияние этого эффекта на доменную структуру проявляется косвенно: предложенная автором модель формирования бидоменной структуры предполагает, что профиль концентрации лития в кристаллической пластине имеет симметричный вид. Сама модель достаточно убедительна и предполагает две стадии формирования бидоменной структуры. В начальный момент фазового перехода точечные дефекты в приповерхностной области формируют «затравочные» дипольные моменты, способные с некоторой вероятностью осуществить поляризацию структурного дипольного момента по направлению

градиента концентрации  $\text{Li}_2\text{O}$  в кристалле. Несмотря на то, что это поле не превышает  $10^8$  В/м, потенциальный барьер перехода иона  $\text{Li}$  в октаэдр в направлении электрического поля от диполя, порожденного вакансией, уменьшается, а в направлении против этого поля – увеличивается. Таким образом, литиевые вакансии в среднем делают «время» пребывания иона  $\text{Li}$  ближайшем октаэдре со спонтанной поляризацией в направлении электрического поля, создаваемом вакансией, на 2,73 % больше, чем в октаэдре со спонтанной поляризацией против этого поля. Затем дипольные моменты затравочных доменов «запускают» быстро распространяющийся рост доменов при переходе через температуру Кюри в процессе охлаждения кристалла. В каждой элементарной ячейке внутренние поля, выстраивающие дипольные моменты в одном направлении, формируются сонаправленными дипольными моментами. В данном случае ион  $\text{Nb}$  смещается в том же направлении, что и  $\text{Li}$  за счет кулоновского взаимодействия. Предложенная модель хорошо согласуется с экспериментальными результатами, качественно объясняет формирование бидоменной структуры в хорошо проводящем при температуре Кюри  $\text{LiNbO}_3$  и имеет перспективы для дальнейшего уточнения и совершенствования.

Важно отметить глубокую проработку литературных источников в диссертации на уровне монографии. Использованы актуальные источники, ряд работ проанализированы Кубасовым И. В. критически с указанием недостатков и возможных ошибок цитируемых исследователей, что позволяет говорить о высокой квалификации соискателя.

Автореферат написан в соответствии с текстом диссертации и хорошо передает суть исследования. Вынесенные на защиту положения сформулированы ясно и корректно, каждое из них обосновано экспериментальными и теоретическими результатами автора, личный вклад которого не вызывает сомнения. Примененные в работе экспериментальные методы – визуализация доменной структуры методом селективного травления, рамановская микроскопия, рентгеновская дифракция – современны и соответствуют решаемым задачам. Выбор способа статистического анализа доменных структур по обработанным изображениям протравленных косых шлифов не вызывает сомнений.

Апробация работы в рецензируемых журналах, российских и международных конференциях, а также патентах более чем достаточна для кандидата наук.

При всех достоинствах работы, по содержанию автореферата имеются следующие замечания:

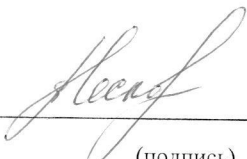
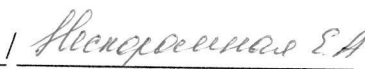
- 1) Отсутствует масштаб на обработанных изображениях протравленных шлифов.

- 2) Желательно для наглядности объединить изображения доменной структуры в кристаллах и графики распределения концентрации  $\text{Li}_2\text{O}$  по толщине пластины. Это дало бы возможность сопоставить сегнетоэлектрическую структуру и состав в пределах единственной иллюстрации.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки работы. Автор диссертации и автореферата Кубасов Илья Викторович заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния по результатам публичной защиты.

Ученый секретарь

Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности» имени Н.П. Сажина  
Кандидат технических наук

 /   
(подпись) (расшифровка)

«05» 09 2022 г.

e-mail: [EIA.Neskoromnaya@rosatom.ru](mailto:EIA.Neskoromnaya@rosatom.ru)

тел. 8-953-707-83-28

Адрес места работы: г. Москва, ул. Электродная, д.2, стр.1.

Подпись Нескоромной Е.А. заверяю  
Директор АО «Гиредмет» имени Н.П. Сажина



А.И. Голиней