

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Институт  
физики твердого тела Российской академии  
наук,  
доктор физ.-мат. наук А.А.Левченко



2021 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе Мололкина Анатолия Анатольевича «Исследование сегнетоэлектрических кристаллов сложных растворов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ : выращивание, структурные, физические и акустические свойства», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Современная акустоэлектроника, оптоэлектроника и пьезотехника в первую очередь определяются появлением новых пьезоэлектрических монокристаллов. Особую роль в данном направлении развития играет поиск пьезоэлектрических материалов, с высокими значениями коэффициента электромеханической связи и температурой применения до 1000 °С. Поэтому тема диссертационной работы А.А. Мололкина представляется весьма актуальной.

Диссертационная работа А.А. Мололкина посвящена получению монокристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ , исследованию структурного совершенства и физических свойств выращенных кристаллов. Для этого были оптимизированы технологические параметры ростового процесса методом Чохральского и проведён ряд экспериментов направленных на выращивание сегнетоэлектрических кристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  с различным соотношением Nb/Ta. Оптимизированы технологические условия высокотемпературной монокристаллизации кристаллов, исследованы важнейшие свойства кристаллов: температура Кюри, параметры элементарной ячейки, скорости поверхностных акустических волн, исследована однородность структуры выращенных кристаллов методами рентгеновской дифрактометрии, масс-спектрометрии и рентгенофлуоресцентного анализа.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в 4 научных публикациях в ведущих научных журналах. Результаты прошли апробацию на международных конференциях.

На основании большого объема проведенных экспериментальных исследований и их анализа автором получен ряд новых результатов, среди которых наиболее интересными, на наш взгляд, являются следующие:

- Впервые методом Чохральского выращены крупные (до 20x50 мм) кристаллы  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  с различным соотношением Nb/Ta;

- На основании экспериментов по выращиванию кристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  построена фазовая диаграмма системы  $\text{LiNbO}_3\text{-LiTaO}_3$ ;

- Установлен линейный характер изменения температуры Кюри в зависимости от состава кристаллов  $\text{LiNbO}_3\text{-LiTaO}_3$ .

- Измерены акустических свойств выращенного кристалла  $\text{LiNb}_{0.88}\text{Ta}_{0.12}\text{O}_3$  и слоистых структур  $\text{LiNbO}_3/\text{Si}$ , указывающие на перспективность их практического применения.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, три из которых содержат оригинальный материал, заключения, списка цитируемой литературы из 80 наименований. Работа изложена на 109 страницах печатного текста, содержит 43 рисунка.

Отметим, что полученные в работе результаты представляются достоверными, а выводы и основные положения, выносимые на защиту обоснованными. Это обеспечивается применением в работе современных экспериментальных методик, подробно описанных в диссертационной работе, привлечением для объяснения и анализа экспериментальных результатов современных теорий физики пьезоэлектриков, воспроизводимостью полученных результатов и их соответствием известным литературным данным.

Во введении сформулированы задачи, решаемые в диссертационной работе, выносимые на защиту положения, обоснована актуальность работы, её новизна и практическая значимость.

В первой главе сделан литературный обзор по теме исследования. Рассмотрены физические свойства традиционных пьезоэлектрических материалов используемых в акустоэлектронике. Подробно описаны, физико-химические



свойства кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$  и твердых растворов сложных сегнетоэлектрических кристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ . Обзор является весьма полным и хорошо отражает современную ситуацию с состоянием изучаемой проблемы.

Во второй главе подробно представлены методики выращивания и монодоменизации кристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  различного состава, а также экспериментальные результаты измерения температуры Кюри выращенных кристаллов.

В результате проведенных исследований по отработке режимов выращивания монокристалла  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  различного состава была разработана соответствующая методика, включающая в себя как процедуры, связанные с приготовлением исходной шихты, так и непосредственно процесс выращивания монокристалла  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  различного состава.

Третья глава посвящена исследованию структурного совершенства выращенных кристаллов твердых растворов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ . В частности, определены параметры элементарной кристаллической ячейки синтезированных кристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ . Структурное совершенство выращенных кристаллов  $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$  исследовано методами рентгеновской топографии, дифрактометрии и рентгенофлуоресцентного анализа.

Четвертая глава посвящена исследованию акустических свойств выращенного кристалла  $\text{LiNb}_{0,88}\text{Ta}_{0,12}\text{O}_3$  и слоистых структур  $\text{LiNbO}_3/\text{Si}$ . Особый интерес, на наш взгляд, представляет исследование процесса распространения ПАВ и псевдо ПАВ в слоистой структуре  $41^\circ$  YX-срез кристалла  $\text{LiNbO}_3/\text{Si}(100)$ , так как изготовление и исследования слоистых структур является очень актуальным направлением для стабилизации температурно-частотных характеристик для применения в акустоэлектронике.

Работа А.А. Мололкина не свободна от недостатков.

1. Во второй главе подробно описана методика высокотемпературной монодоменизации кристаллов  $\text{LiNb}_{0,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_3$ , в тоже время ничего не говорится о технологических параметрах монодоменизации кристаллов с другим соотношением Nb/Ta. В связи с этим не совсем понятно, можно ли по этим технологическим режимам проводить высокотемпературную монодоменизацию кристаллов с отношением Nb/Ta отличным от единицы.

2. Не всегда цитируются работы, где делались первые попытки выращивания монокристаллов твердых растворов LNTO и их характеристики, хотя и не такие успешные.

3. Работа написана хорошим языком, но в отдельных местах встречаются неточности, опечатки и погрешности стиля. К последним относится частое использование термина «синтез кристаллов» вместо принятого термина «выращивание кристаллов». Термин синтез относится к порошкам или керамикам.

Отмеченные выше недостатки не меняют общую положительную оценку работы. Полученные в работе новые результаты являются экспериментально обоснованными и согласуются с модельными представлениями. Диссертация А.А. Мололкина является законченной научно-исследовательской квалификационной работой. Достоверность результатов и обоснованность выводов не вызывают сомнений. Автореферат и опубликованные работы адекватно отражает содержание диссертации. Полученные данные могут быть использованы в работе лабораторий и научных центров, занимающихся получением новых кристаллов по методу Чохральского и разработкой электронных приборов, в основе которых лежат пьезоэлектрические преобразователи.

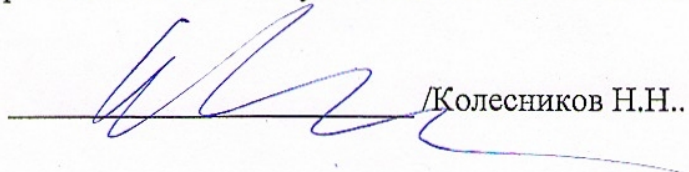
Диссертация по актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, их достоверности и новизне соответствует критериям Положения о присуждении учёных степеней (п.9 - п. 14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., а её автор, А.А. Мололкин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Доклад по диссертации заслушан и обсужден на заседании семинара «Рост кристаллов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН).

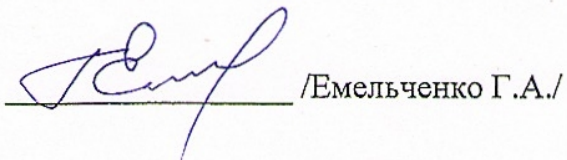
Присутствовало на заседании 17 человек. Проголосовали - «за» 17 человек, «против» - нет, «воздержался» - нет, протокол № 6 от 17 ноября 2021 года.

Отзыв составили:

Заведующий лабораторией физико-химических основ кристаллизации ИФТТ РАН, доктор технических наук Колесников Николай Николаевич (nkolesn@issp.ac.ru)

 /Колесников Н.Н./

Руководитель семинара «Рост кристаллов», Главный научный сотрудник ИФТТ РАН, доктор технических наук Емельченко Геннадий Анатольевич (emelch@issp.ac.ru)

 /Емельченко Г.А./

Адрес организации:

Российская федерация, 142432, Московская область,

Г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 2

Тел.: 8(496)52 21982 +7 906 095 4402

E-mail: adm@issp.ac.ru