

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу
Мололкина Анатолия Анатольевича «Исследование сегнетоэлектрических кристаллов
сложных растворов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$: выращивание, структурные, физические и акустические
свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук
по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники,
квантовых устройств
(05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах).

Диссертационная работа содержит введение, четыре основных главы, которые разбиты на подглавы и подразделы, выводы и библиографию. Диссертация содержит 109 страниц, 43 рисунка и 6 таблиц.

Во введении дана общая характеристика работы: обоснована ее актуальность, изложены цели и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. Указан личный вклад автора и апробация работы.

В первой главе приведен обзор литературных данных о свойствах пьезоэлектрических кристаллов, используемых в акустоэлектронике.

Во второй главе рассмотрены вопросы синтеза и высокотемпературной монодоменизации сегнетоэлектрических кристаллов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$. Приведены результаты оптимизации процесса выращивания кристаллов, установлены оптимальная скорость вращения и скорость вытягивания кристаллов из расплава.

В третьей главе методами рентгеновской топографии, дифрактометрии и рентгенофлуоресцентного анализа исследованы структурные свойства и элементный состав выращенных кристаллов твердых растворов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$, определены параметры их элементарной ячейки.

В четвертой главе исследованы акустические свойства выращенных кристаллов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$, определена скорость поверхностных акустических волн в YZ-срезе, исследован процесс возбуждения поверхностных и псевдоповерхностных акустических волн в слоистых кристаллических структурах LiNbO_3/Si .

В основных выводах по результатам работы суммируются полученные в диссертационной работе научные результаты.

Актуальность темы выполненной работы

Как известно, в 60-е годы прошлого столетия было предложено использовать акустоэлектронные технологии для создания различных устройств обработки сигналов. Для более эффективного возбуждения акустических волн твердое тело должно обладать большими значениями пьезоэффекта. Одними из наиболее популярных в настоящее время пьезоэлектриков с хорошими пьезосвойствами являются танталат и ниобат лития. Тем не менее, оба эти материала обладают и определенными недостатками. Применение танталата лития ограничено его относительно низкой температурой Кюри, а ниобат лития недостаточно стабилен при повышенных температурах. В связи с этим представляет интерес создание смешанных кристаллов из твердых растворов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ с различным соотношением изоморфных катионов. Однако, ключевой проблемой, замедляющей исследование их пьезоэлектрических и акустических свойств – сильная дефектность получаемых кристаллов. В связи с этим, проблема усовершенствования технологии выращивания таких кристаллов и исследование их свойств является, несомненно, актуальной.

Оценка научной новизны исследования и практическая значимость полученных результатов

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Использовались проверенные и калиброванные средства измерений, применялись современные и независимые методы обработки экспериментальных данных. Полученные результаты согласовываются с результатами других авторов и не противоречат известным физическим моделям. Также результаты исследований докладывались и обсуждались на ведущих научных конференциях, в том числе международных. Результаты опубликованы в реферируемых журналах, входящих в систему WOS, Scopus и список ВАК.

Основные результаты и положительные стороны исследования.

1. Впервые методом Чохральского выращены сегнетоэлектрические кристаллы сложных растворов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ хорошего качества диаметром до 20 мм.
2. Впервые проведена высокотемпературная электродиффузионная обработка кристаллов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ для монодоменизации структуры.
3. Исследована однородность структуры выращенных кристаллов методами рентгеновской дифрактометрии, масс-спектрометрии и рентгенофлуоресцентного анализа.
4. Впервые исследована зависимость температуры Кюри от соотношения Nb/Ta сегнетоэлектрических кристаллах $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$.
5. Впервые исследованы характеристики поверхностных акустических волн (ПАВ) в синтезированных кристаллах $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$.
6. Продемонстрировано увеличение скорости распространения ПАВ в слоистой структуре 41YX $\text{LiNbO}_3/\text{Si}(100)$ по сравнению с 41YX LiNbO_3 , что может быть использовано для создания ПАВ устройств с большей температурной стабильностью.

Практическая ценность работы заключается:

В разработке технологии выращивания и монодоменизации сегнетоэлектрических кристаллов твердых растворов $\text{LiNb}_{(1-x)}\text{Ta}_x\text{O}_3$ хорошего качества, что позволит в дальнейшем их использовать для создания акустоэлектронных приборов на ПАВ и объемных акустических волнах.

Следует отметить большое количество усилий автора при выяснении технологических параметров, позволяющих получать кристаллы без пор, пузырей и трещин. Выполнен огромный объем работ по характеризации полученных кристаллов. Работа имеет несомненно практическое приложение. Текст диссертации отличается последовательностью изложения и хорошо структурирован.

По работе имеются следующие замечания.

1. В тексте отсутствует объяснение, почему после шихты с составом 95 моль% LiNbO_3 и 5 моль% LiTaO_3 и модифицированном ростовом методе, закончившимся получением кристалла без пор, пузырей и трещин, была выбрана шихта с составом 75 моль% LiNbO_3 и 25 моль% LiTaO_3 (с.38).
2. Чем обусловлено ограничение величины плотности тока (2 мА/см²) на контактной поверхности (с.45, с.46)?
3. В выводах к главе 2 хотелось бы видеть заключение о физических процессах, происходящих в выращиваемых кристаллах при различной концентрации компонент и условиях выращивания, а также рекомендации для технологов.
4. Было бы интересно провести сравнение дифракционных спектров полученных кристаллов с результатами, представленными в Ruesing, M. et al. Vibrational properties of $\text{LiNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$ mixed crystals// Phys.Rev.B, 2016, 93(18), 184305, 10.1103/PhysRevB.93.184305.
5. В главе 3, начиная с п.3.2 приведены в результаты исследования структуры кристалла $\text{LiNb}_{0.88}\text{Ta}_{0.12}\text{O}_3$, тем не менее, говорится, что исследования проводились для $\text{LiNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$. Можно ли что-то сказать о влиянии соотношения компонент Nb и Ta на структуру получаемых кристаллов?

6. В главе 4 также даны сведения только о поверхностных акустических волнах (ПАВ) в $\text{LiNb}_{0.88}\text{Ta}_{0.12}\text{O}_3$. Можно ли что-то сказать о влиянии соотношения компонент Nb и Ta на скорости ПАВ?

7. К сожалению, отсутствует информация о коэффициенте электромеханической связи ПАВ в созданных кристаллах.

8. Можно отметить некоторую небрежность в оформлении диссертации:

- На рис.10 отсутствуют синие и красные точки, о которых упоминается в тексте (с.40).

- Грамматические ошибки и неправильная нумерация таблиц (с.81 в тексте должно быть Табл.6).

- Повторное описание метода сканирующей микроскопии для визуализации ПАВ в разделе 4.3.2. Оно уже было приведено в разделе 4.2.

- На некоторых рисунках - английский текст в обозначениях осей и аббревиатур. Причем в тексте используются русские сокращения.

Все эти замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы в целом. Диссертация А.А. Мололкина является самостоятельным законченным исследованием, выполненным на современном уровне и имеющим большое научное и практическое значение.

Оформление диссертации соответствует предъявляемым требованиям. Автореферат и публикации по теме диссертации с достаточной полнотой отражают ее содержание. Основные результаты проведенных исследований представлены в 6 печатных работах, в том числе в 4 статьях в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, из них 3 – в журналах, индексируемых в WOS и Scopus, в 2 докладах на международных конференциях.

Диссертационная работа Мололкина А.А. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации, к кандидатским диссертациям, предусмотренным пп.9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Мололкин Анатолий Анатольевич, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств (05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах).

Официальный оппонент

Кузнецова Ирен Евгеньевна

доктор физико-математических наук, (спец.01.04.03 – радиофизика), доцент,

главный научный сотрудник лаборатории

электронных процессов в полупроводниковых материалах №172

ФГБУН Институт радиотехники и электроники

им. В.А. Котельникова Российской академии наук

125009 Москва, ул. Моховая, 11, корп.7

Тел. +7(915)237-98-80

e-mail: kuziren@yandex.ru

03.12.2021

Подпись Кузнецовой И.Е. удостоверяю

Ученый секретарь ИРЭ им.В.А. Котельникова РАН

кандидат физ.-мат. наук

Кузнецова Ирен Евгеньевна
(ФИО)



(И.И. Чусов)