

## ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Козлова Андрея Андреевича «Физико-химические особенности кинетики реактивного ионного травления тонкопленочного ниобата лития во фторсодержащей плазме», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа Козлова Андрея Андреевича посвящена изучению физико-химических особенностей кинетики реактивного ионного травления тонкопленочного  $LiNbO_3$  в плазме газовой смеси  $SF_6/Ar$ . Тема диссертационной работы Козлова А.А. является актуальной, поскольку благодаря низким оптическим потерям ниобата лития, его высоким электрооптическим коэффициентам и нелинейно-оптическим свойствам такие фотонные интегральные схемы на его основе широко применяются в телекоммуникациях и сенсорике и на сегодняшний день для этого материала стоят новые вызовы. Задача миниатюризации элементов фотонных интегральных схем – ставит проблематику исследования тонкопленочного  $LiNbO_3$ , особенностей формирования миниатюрных фотонных компонентов (например, оптических волноводов с заданными параметрами) на его основе и исследования их свойств. Это актуальная задача науки и технологии на сегодняшний день для задач изготовления фотонных интегральных схем.

В работе детально разработан метод определения длительности индукционного периода вторичной конденсации нелетучего продукта реакции в ходе реактивного ионного травления, выполнено комплексное изучение влияния параметров процесса травления и дефектов кристаллической структуры тонкопленочного ниобата лития на явление вторичной конденсации продукта реакции  $LiF$ , получены новые экспериментальные данные о дефектности кристаллической структуры тонкопленочного ниобата лития, демонстрирующие увеличение плотности дислокаций в ходе изготовления подложек на три порядка по сравнению с объемным НЛ; подтверждено экспериментально влияние протонного обмена на продолжительность индукционного периода вторичной конденсации  $LiF$  в ходе РИТ ниобата лития во фторсодержащей плазме. Также автором предложено модельное представление процесса травления тонкопленочного ниобата лития в плазме газовой смеси  $SF_6/Ar$ , описывающее процесс травления как неклассическую топохимическую реакцию, сопровождающуюся явлением вторичной конденсации  $LiF$  из газовой фазы на поверхность ниобата лития по механизму островкового зародышеобразования Фольмера-Вебера. Особо хочется отметить что, результаты полученные автором – уже применяются на ПАО «Пермская научно производственная приборостроительная компания», а диссертация хорошо структурирована и её можно использовать как учебное пособие и основу для дальнейших исследований.

В автореферате достаточно чётко изложены главные положения диссертации и приведены основные результаты. По теме диссертации опубликовано 5 статей в журналах списка ВАК, 4 статьи в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, 5 статей в журналах из списка РИНЦ, 1 патент РФ, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты докладывались на российских и международных конференциях. В целом данная работа представляет важное научное исследование, обладающее существенной научной и практической ценностью.

Замечания.

В работе делается выбор в пользу травления во фторсодержащей газовой смеси на основе большей безопасности, однако травление во хлорсодержащей плазме тоже важный и широко распространённый элемент технологии полупроводников. Например, травление III-N материалов -

проводится в смеси газов  $BCl_3/Cl_2$ . Это несколько не уменьшает заслуг автора, поскольку принципы выведенные автором скорее всего актуальны и для других режимов травления.

Диссертационная работа Козлова А.А. является законченной научно-исследовательской работой, соответствующей паспорту специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния» и полностью отвечает всем требованиям Положения ВАК о порядке присуждения учёных степеней, а её автор - Козлов Андрей Андреевич – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Кандидат физико-математических наук,

Научный сотрудник

Санкт-Петербургского национально-исследовательского

Академического университета им. Ж.И. Алфёрова

Российской Академии наук

Специальность: 1.3.11. Физика полупроводников (физико-математические науки)

10 октября 2024 г.  Котляр Константин Павлович

Я, Котляр Константин Павлович, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Почтовый адрес: 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Хлопина, дом 8, корпус 3, литер А

федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук»

(812) 247-44-84 [office@spbau.ru](mailto:office@spbau.ru)

Подпись Котляра К.П. удостоверяю:

Ведущий специалист по кадрам  
*Темц Теменисова ВВ*  
«18» 10 2024.



*с.к.р.д.с.*

*Минусин АА*