

## ОТЗЫВ

на автореферат Голованова Антона Владимировича «Травление планарных структур «алмаз-металл» и «алмаз-диэлектрик» высокочастотным газовым разрядом низкого давления», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Автор отзыва

**ФИО:** Окотруб Александр Владимирович

**Ученая степень:** доктор физико-математических наук

**Год присуждения ученой степени и научная специальность, по которой**

**присуждена ученой степени:** 2000, 02.00.04 – Физическая химия

**Ученое звание:** профессор

**Место работы:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения

Российской академии наук (ИНХ СО РАН)

**Должность:** зав. отделом химии функциональных материалов

**Контактная информация:** spectrum@niic.nsc.ru, +73833305352, +79039365960

Алмаз – углеродный материал, обладающий набор уникальных физических и физико-химических свойств. Для практического применения в электронных устройствах необходимо на поверхности алмазных подложек создание микрорельефов заданной структуры. Применение классических методов литографии к веществу с рекордной твердостью поверхности срабатывает недостаточно эффективно. В диссертации Голованова А. В. проведено комплексное исследование процессов реактивного ионного травления планарных структур «алмаз-металл» и «алмаз-диэлектрик» в магнетронной плазме.

В работе представлены экспериментальные исследования травления синтетического алмаза с нанесенными защитными слоями в высокочастотных газовых разрядах низкого давления. Значительная часть работы посвящена созданию и совершенствованию экспериментальной установки для реактивного ионного травления алмаза, формированию защитных масок для травления и сравнению их свойств, а также методов исследования формы и рельефа алмазной поверхности. Для травления алмаза автором использовался эльгаз ( $\text{SF}_6$ ). Впервые была изучена зависимость скорости травления алмаза от напряжения самосмещения и на основе полученных данных сделаны важные выводы о механизмах реактивного ионного травления алмаза в разряде  $\text{SF}_6$ . В работе исследовано селективное травление алмаза с твердыми защитными масками из металлов Al, Ni, Cr, Mo и диэлектриков AlN,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Впервые определены селективности травления этих материалов к алмазу при травлении в разрядах на основе  $\text{SF}_6$ . Предложена модель, объясняющая зависимость селективности

травления от начальной формы защитной маски в разрядах с интенсивным ионным распылением. Разработаны методики для формирования травлением на поверхности алмаза трехмерных структур - конусов, линз, дорожек и др.

Полученные в ходе выполнения работы результаты были использованы для выполнения ряда государственных контрактов, т.е. подтвердили свою полезность для применения в технических приложениях. В частности указывается, что методика реактивного ионного травления алмаза эльгазом приводит к удалению нарушенного приповерхностного слоя алмаза при создании алмазных диодов Шоттки.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях в виде устных и стендовых докладов. По теме работы соискателем опубликовано 8 печатных работ, из них 7 статей в русскоязычных и зарубежных журналах, входящих в базы цитирования Scopus и WoS (Physica Status Solidi A, Известия ВУЗов: Химия и Химическая Технология).

При чтении автореферата возникли несколько уточняющих вопросов:

1. Какова частота магнетронной плазмы при травлении алмаза?
2. Не ясно определение селективности по формуле 1. Какие параметры определяет  $h$ ?
3. В главе 4, посвященной процессу селективного плазменного травления алмаза в среде эль газа хотелось бы видеть более четкое разделение количественного и качественного вкладов в механизм травления анизотропной ионной бомбардировки и химического травления.
4. Плазма на основе  $SF_6$  впервые использована для травления алмаза, но традиционно используется для травления других полупроводников и диэлектриков, например, кремния и его соединений. Было бы полезно сравнить полученные данные по механизмам травления и селективностям защитных масок с аналогичными данными по травлению поверхности кремния.

Отмеченные замечания, однако, не снижают общей положительной оценки работы. Основываясь на материалах, представленных в автореферате, и на статьях автора, опубликованных в ведущих рецензируемых журналах, считаю, что диссертационная работа «Травление планарных структур «алмаз-металл» и «алмаз-диэлектрик» высокочастотным газовым разрядом низкого давления» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Голованов Антон Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

20.09.2021 г.

Окотруб А.В.

Подпись Окотруб А.В.  
заверяю Гераев Ю.А.  
Ученый секретарь ИИХ СО РАН  
" 20 " 09 2021 г.

