

ОТЗЫВ

руководителя диссертационной работы Голованова Антона Владимировича

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

Диссертация Голованова А.В. посвящена исследованию процессов взаимодействия монокристаллов алмаза и структур «алмаз-металл» и «алмаз-диэлектрик» с плазмой высокочастотного емкостного (ВЧЕ) газового разряда низкого давления и результатов этого взаимодействия для формирования функциональных интерфейсов на поверхности алмаза.

Актуальность работы заключается в том, что для создания изделий на основе синтетического алмаза требуется соответствующая подготовка поверхности кристалла при помощи плазменной микрообработки, в том числе формирование на поверхности трехмерных микроструктур при помощи реактивного ионного травления с защитными масками из металлов и диэлектриков. Одной из перспективных сред для травления алмаза является высокочастотный емкостной разряд низкого давления на основе элегаза (SF_6), который может позволить достичь более высоких скоростей травления по сравнению с обычно используемыми плазмами на основе кислорода и аргона, что важно для повышения производительности процессов обработки алмазной поверхности в маломощных плазменных реакторах. Однако исследований, посвященных травлению алмаза в плазме SF_6 , ранее практически не проводилось.

Теоретическое описание механизмов взаимодействия плазмы с поверхностью твердого тела, в том числе определение коэффициентов ионного распыления алмаза, металлов и диэлектриков, является достаточно сложной задачей. В диссертационной работе Голованова А.В. получен большой объем экспериментальных данных, которые позволят усовершенствовать теорию ионного распыления в применении к алмазу.

В диссертационной работе Головановым А.В. впервые изучена зависимость скорости реактивного ионного травления алмаза от напряжения самосмещения в ВЧЕ-разрядах низкого давления на основе элегаза SF_6 . Им установлено, что травление алмаза в плазме на основе SF_6 происходит по механизму физического распыления ускоренными

ионами, химически усиленного в атмосфере фтора. Головановым А.В. произведено численное моделирование состава плазмы SF₆ в ВЧЕ-разрядах низкого давления и впервые получено значение коэффициента распыления алмазного материала в плазме SF₆ - 8 атомов углерода на один распыляющий ион плазмы.

В работе Голованова А.В. впервые измерены селективности травления металлов (никеля, алюминия, хрома, молибдена) и диэлектриков (оксид алюминия, нитрид алюминия) к алмазу в плазме на основе SF₆. Показано, что наиболее высокую селективность имеют химически устойчивые к фтору материалы: никель (75), хром (>14), алюминий (11). Также Головановым А.В. разработана модель эволюции систем «алмаз-металл» и «алмаз-диэлектрик» под действием ионного распыления в плазме, в соответствии с которой возможно подобрать форму и материал масок таким образом, чтобы в одном процессе травления алмаза параллельно формировать на его поверхности трехмерные структуры различной формы и аспектного соотношения. Результаты исследования позволили получить монокристаллы алмаза с развитой поверхностью, твердые иммерсионные микролинзы на поверхности алмаза, алмазные мезаструктуры с контактами Шоттки и другие изделия.

Необходимо также отметить исследование влияния плазменного травления на шероховатость алмазной поверхности и эффект микромаскинга. При помощи анализа функций шероховатости поверхности и спектральной мощности плотности шероховатости Головановым А.В. показано, что реактивное ионное травление в ВЧЕ-разрядах с интенсивным ионным распылением (SF₆, SF₆+CF₄, Ar+O₂) приводит к сглаживанию алмазной поверхности, а также подавляет эффект микромаскинга.

Диссертация является научно-квалификационной работой, результаты которой вносят значительный вклад в теорию и практику плазменной обработки алмаза. Работа выполнялась в соответствии с планами научно-исследовательских работ ФГБНУ ТИСНУМ, в частности в рамках госконтрактов по разработке элементов силовой электроники на основе алмаза и проектов по исследованию квантовых систем на основе алмазных центров окраски.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 7 российских и 8 международных конференциях в виде устных и стендовых докладов. По тематике работы соискателем опубликовано 8 печатных работ. Из них 7 статей в журналах, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science («Physica Status Solidi A», «Изв. вузов. Хим. Хим. технология»), 1 статья в журнале «Труды МФТИ» из перечня ВАК.

В общей сложности Голованов А.В. является соавтором 22 печатных работ в области физики конденсированного состояния и химической физики, из которых 18 опубликованы в журналах, входящих в базы цитирования Scopus и WoS, а также является соавтором 1 патента РФ на метод изготовления преобразователя энергии на основе алмаза.

Основные результаты диссертационной работы А.В. Голованова получены автором лично.

В целом Голованов Антон Владимирович обладает высоким уровнем квалификации в области физики конденсированного состояния, отличным знанием современной экспериментальной техники, высокой теоретической подготовкой, умением построения необходимых теоретических моделей и их успешного практического применения.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК при Правительстве РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Голованов А.В. является высококвалифицированным специалистом и достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Научный руководитель:

Главный научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Технологический институт сверхтвердых
и углеродных материалов»

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, 7а.

доктор физико-математических наук

тел. +7 (499) 400 62 25

Email: buga@tisnum.ru

Буга Сергей Геннадьевич

01.03.2021 г.

Подпись г.н.с. д.ф.-м.н. С.Г. Буги удостоверяю

Ученый секретарь ФГБНУ ТИСНУМ

К.т.н.



Д.В. Батов