

(ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ)

Учреждение образования
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

УДК 621.3.049.77: 621.793

Голосов Дмитрий Анатольевич

**ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
СЛОЕВ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ
ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ**

Специальность **05.27.06** – Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Минск 2002

Работа выполнена в Учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"

Научный руководитель: д.т.н., акад. НАН Беларуси, проф. А.П. Достанко (Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники", кафедра ЭТТ);

Научный консультант: к.т.н. И.В. Свадковский (Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники", кафедра ЭТТ);

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Сокол В.А. (Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники", кафедра микроэлектроники);

к.ф.-м.н. Пономарь В.Н. (НИКТП "Белмикросистемы" НПО "ИНТЕГРАЛ");

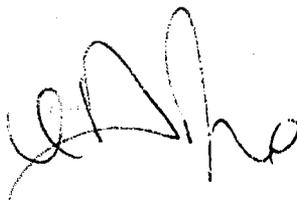
Оппонирующая организация: Институт технической акустики НАН Беларуси

Защита диссертации состоится 16 января 2003 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.15.03 при Учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6), тел. 2-39-89-89

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники".

Автореферат разослан "13" декабря 2002 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, д.ф.-м.н., проф.



И.И. Абрамов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Получение высококачественных тонкопленочных слоев сверхтвердых материалов является одной из актуальных задач технологии. Несмотря на то, что производство тонких пленок располагает широким и разносторонним выбором методов и технических средств, применение известных разработок не всегда может в полной мере удовлетворить предъявляемым требованиям. Расширение номенклатуры материалов и стремление перейти к непрерывным технологическим процессам существенно повысили интерес к получению пленок распылением материалов ионной бомбардировкой. В последние годы интенсивно ведутся исследования по разработке и внедрению в промышленность ионно-ассистированных методов нанесения тонких пленок. Это связано, прежде всего, с тем, что методы ионного ассистирования позволяют получать пленки с заданными свойствами, активно управлять процессом формирования пленок путем изменения энергии, как распыленных частиц, так и параметров ассистирующего ионного пучка и, тем самым, обеспечивать условия для получения пленок с заданными структурно-фазовыми свойствами и воспроизводимостью параметров от процесса к процессу.

Выбор, в качестве основного объекта исследований, тонких пленок на основе сверхтвердых материалов продиктован наличием у них ряда интересных физико-химических свойств, позволяющих применить их в различных областях промышленности. Возможность воспроизводимого формирования пленок сверхтвердых материалов методами ионного ассистирования открывает перспективы для их активного внедрения в различных областях науки и техники.

Несмотря на все более активное применение ионного ассистирования в технологии формирования пленочных структур, проблема управления фазовыми превращениями в осаждаемых пленках при дополнительном энергетическом воздействии до настоящего времени не достаточно исследована. В этой связи разработка практических аспектов ионно-ассистированного нанесения тонких пленок сверхтвердых материалов является актуальной задачей. Данная проблема может быть решена путем анализа физических и химических процессов, протекающих в объеме и на поверхности осаждаемых покрытий, выявление факторов, которые оказывают воздействия на эти процессы, и выработку физико-технических принципов получения пленок с заданными параметрами.

Связь работы с крупными научными программами, темами

Диссертационная работа выполнялась в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в рамках Государственной

научно-технической программы "Диагностика, медицинская техника и оборудование" задание "02.12. Разработать и изготовить тепловыделяющие элементы на гибких и жестких носителях и автоматизированный комплекс для их производства", исследовательского проекта Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь № Т97М - 112 "Разработка физико-химических основ формирования пленок нитрида углерода методами ионного ассистирования", научно-исследовательских проектов: № 1520/93 "Исследовать процессы генерации и ускорения пучков ионов низких энергий, и разработать принципы проектирования технологических устройств формирования плёночных структур методом радиационной ионно-лучевой химии", № 1535/96 "Исследование механизма и кинетики взаимодействия энергетичных потоков ионов с поверхностью твердого тела в процессах модификации и синтеза тонких пленок", № 1541/97 "Разработка физико-химических основ формирования пленок нитрида бора методами ионного ассистирования", № 1324/97 "Разработка физико-технических основ ионно-фотонной технологии формирования и модификации пленочных и поверхностных структур с управляемыми оптическими и механическими свойствами.", № 1558/00 "Исследовать процессы высокоинтенсивного ионно-стимулированного синтеза тонкопленочных структур и разработать принципы построения ассистирующих систем", № 1551/99 "Разработка физических основ проектирования устройств и процессов ионного ассистирования магнетронному распылению".

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка ионно-плазменных систем для ионно-ассистированного нанесения тонких пленок, экспериментальное исследование влияния параметров ионной бомбардировки на свойства формируемых пленок сверхтвердых материалов, разработка физико-технических основ технологических процессов получения сверхтвердых покрытий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные задачи**:

- провести анализ современного состояния исследований в области разработки методов и средств получения тонкопленочных покрытий сверхтвердых материалов;
- разработать методику расчета и проектирования ионно-плазменных систем для процессов ионно-ассистированного нанесения пленок сверхтвердых материалов;
- разработать и исследовать ионно-плазменные системы для ионно-ассистированного нанесения тонких пленок;
- экспериментально исследовать процессы формирования пленок сверхтвердых материалов под воздействием ионной бомбардировки;

- провести комплекс исследований по изучению влияния параметров процесса формирования пленок сверхтвердых материалов на их свойства.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются процессы взаимодействия ионов с поверхностью твердого тела, конструкции ионно-плазменных систем и структурно-фазовые превращения в наносимых слоях сверхтвердых материалов.

Гипотеза

Предполагается, что применение ионной бомбардировки конденсирующегося материала позволит активно управлять процессом фазообразования с целью обеспечения требуемых свойств покрытий.

Методология и методы проведенного исследования

Для решения данных задач необходимо было сконструировать, изготовить и испытать системы ионно-ассистированного осаждения, обеспечить их комплексом вспомогательных контрольно-измерительных средств. Определить основные характеристики процессов ионно-ассистированного осаждения. Провести исследования структурно-фазовых параметров полученных покрытий и установить закономерности влияния технологических режимов на эти свойства.

При выполнении работы использовались различные методы как формирования потока ионов (ионные источники, несбалансированные магнетроны), так и диагностики параметров, процессов происходящих в разряде, и качества полученных пленок.

Применение зондовых методов диагностики ионно-плазменных пучков позволило определять характеристики плазменного потока, т.е. энергию, концентрацию заряженных частиц и пространственное распределение данных параметров, что позволило связать параметры процесса нанесения со свойствами осажденных покрытий и судить о физико-химических процессах, происходящих в конденсирующемся на подложке материале под действием ионной бомбардировки. Использование метода ИК спектроскопии позволило производить анализ фазового состава полученных пленок сравнением ИК спектров поглощения пленок в диапазоне 400 - 4000 см^{-1} . Структура и морфология осажденных пленок анализировались методами просвечивающей электронной микроскопии, ЭПР спектроскопии. Исследования износостойкости осажденных пленок осуществлялись методом истирания индентором. Абсолютные значения твердости пленочных покрытий были получены с помощью измерителя микротвердости пленок.

Научная новизна и значимость полученных результатов

1. Разработана методика расчета и проектирования ионно-плазменных систем, которая связывает компоновочные параметры магнетронной

распылительной системы с ее разрядными характеристиками. Для количественной оценки степени несбалансированности магнетронных распылительных систем предложены понятия коэффициента несбалансированности и коэффициента геометрической несбалансированности магнетронной распылительной системы, которые имеют прямую связь с отношением ион/атом на поверхности конденсации.

2. Установлены зависимости плотности ионного тока на подложку от степени несбалансированности магнетронной распылительной системы. Показано, что применение несбалансированной конфигурации магнитного поля МРС позволяет в несколько раз увеличить плотность ионного тока бомбардирующего подложку. Установлено, что плотность ионного тока магнетронной распылительной системы с дополнительным соленоидом достигает 25.0 mA/cm^2 на оси магнетрона при токе разряда МРС $I_r = 3.0 \text{ A}$, и примерно, на порядок величины превышает плотность ионного тока обычной МРС и в три – четыре раза – несбалансированной МРС с усиленным боковым магнитным полем.

3. Предложена концепция магнетронной распылительной системы, в которой изменение конфигурации и интенсивности магнитного поля в промежутке мишень – подложка достигается за счет магнитного поля, создаваемого дополнительным соленоидом, что позволяет в широких пределах изменять степень несбалансированности магнетрона и добиться оптимизации разрядных характеристик магнетрона.

4. Установлены зависимости образования нитрида бора с sp^3 -гибридизацией связей от параметров процесса (энергии и плотности тока бомбардирующих ионов, соотношения рабочих газов, температуры подложки). Показано, что фактором, наиболее полно характеризующим процесс ионного ассистирования, является импульс, воздействующий на осажденный атом конденсирующейся фазы. Установлено, что образование нитрида бора с sp^3 -гибридизацией связей достигается в узком диапазоне значений импульса порядка $40 - 90 \text{ (эВ} \times \text{а.е.м.)}^{1/2}$.

5. Установлены зависимости показателя преломления на длине волн 10.5 мкм и твердости алмазоподобных пленок, полученных методом несбалансированного реактивного магнетронного распыления, от соотношения рабочих газов Ar/CH_4 , скорости осаждения пленок и энергии бомбардирующих ионов. Синтез алмазоподобных покрытий с коэффициентом преломления $n \geq 2.0$ и микротвердостью $1300 - 2100 \text{ кгс/мм}^2$ возможен при энергии бомбардирующих ионов $50 - 90 \text{ эВ}$ и содержании CH_4 в смеси рабочих газов в пределах $5 - 10 \%$.

Практическая значимость полученных результатов

Создана лабораторная установка для формирования тонкопленочных структур методом двойного ионно-лучевого распыления, где для генерации распыляющего и ассистирующего ионных потоков применены ионные источники с замкнутым дрейфом электронов на основе ускорителя с анодным слоем и торцевого холловского ускорителя.

Разработана методика проектирования магнетронных распылительных систем несбалансированного типа, которая применена при проектировании и оптимизацию параметров магнетронных распылительных систем несбалансированного типа с замкнутой областью для получения высокоадгезионных слоев на крупноформатных подложках. Разработанная магнетронная распылительная система вошла в состав комплекса для реализации технологических процессов формирования функциональных тонкопленочных слоев на УП "Завод транзистор".

Создана лабораторная установка для получения покрытий методом несбалансированного магнетронного распыления, где для синтеза покрытий в присутствии ионной бомбардировки применена экспериментальная магнетронная распылительная система несбалансированного типа с управляемым соотношением ион/атом на поверхности конденсации.

Разработан способ получения алмазоподобных покрытий для защиты и просветления ИК германиевой оптики, где в качестве источника углерода используется комбинация реакции диссоциации углеводородов в плазме тлеющего разряда МРС и ионного распыления графитовой мишени (метод реактивного магнетронного распыления). Данный способ нанесения покрытий позволил получать защитные алмазоподобные покрытия с управляемым показателем преломления и коэффициентом поглощения. Применение алмазоподобных покрытий позволило повысить пропускание германиевого окна до 92 % на длине волны 10,5 мкм.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Результаты исследований основных закономерностей формирования пленок сверхтвердых материалов, в том числе зависимости от энергии и интенсивности ионной бомбардировки, позволяющие судить о ключевой значимости ионного ассистирования в процессах синтеза данного класса покрытий.
2. Способ получения тонких пленок нитрида бора двойным ионно-лучевым распылением с использованием ускорителей с анодным слоем и торцевых холловских ускорителей;
3. Принципы проектирования и технические решения создания магнетронных распылительных систем несбалансированного типа, основанные

на взаимосвязи разрядных характеристик магнетрона с конфигурацией магнитного поля в области мишень - подложка;

4. Способ получения защитных и просветляющих покрытий на основе углерода и его соединений методом несбалансированного магнетронного распыления.

Личный вклад соискателя

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в создании экспериментального комплекса, непосредственном участии в подготовке и проведении экспериментов по получению тонких пленок сверхтвердых материалов, анализе, интерпретации и обобщении полученных результатов. В совместно опубликованных работах автор осуществлял постановку задачи, предлагал и обосновывал направления решения научных проблем.

Апробация результатов диссертации

Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на международных конференциях European Materials Research Society, (Strasbourg, France, 1997 г., 1998 г.), международной конференции Materials Research Society, (Boston, USA, 1997 г.), международных конференциях "Взаимодействие излучения с твердым телом" (Минск, Беларусь, 1997 г., 2001 г.), международной конференции New electrical and electronic technologies and their industrial implementation (Kazimierz Dolny, Poland, 2001 г.), республиканских научных конференциях студентов и аспирантов по физике конденсированных сред (Гродно, Беларусь, 1997 г., 1998 г.), республиканской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии" (Минск, Беларусь, 1998), университетских научных конференциях студентов и аспирантов (БГУИР, Минск, 1997 г., 1998 г.). Материалы диссертационной работы вошли во 2-ой том монографии "Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники." /А.П. Достанко, С.В. Бордусов, И.В. Свадковский и др.; Под общ. ред. А.П. Достанко.

Опубликованность результатов

По материалам диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, в том числе 4 в научно-технических журналах, 6 статей в материалах конференций и 9 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, общих выводов, списка использованных источников. Полный объем диссертации составляет 158 страниц основного машинописного текста, в том числе: 93 рисунков на 46 страницах, 5 таблиц на 4 страницах. Библиографический список содержит 200 наименований литературных источников на 15 страницах.

Установлено, что увеличение энергии бомбардирующих ионов от 10 до 100 эВ приводит к увеличению соотношения D/G рамановских областей при увеличении интегральной интенсивности области поглощения $1000 - 1700 \text{ см}^{-1}$. Кроме того, установлена обратная зависимость интенсивности пика поглощения 2200 см^{-1} . При увеличении температуры подложки до $300 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдалось некоторое уменьшение абсолютной интенсивности пиков, что, по-видимому, связано с уменьшением процентного содержания азота в пленках.

Трибологические характеристики пленок нитрида углерода зависели от соотношения рабочих газов Ar/N₂. Абсолютные значения микротвердости CN_x покрытий на Si(100) подложках были в пределах $800 - 1300 \text{ кгс/мм}^2$, хотя наибольшая твердость была достигнута без использования азота. Установлен рост напряжений с увеличением дозы бомбардировки. При напряжении смещения подложки порядка -80 . В критическая толщина CN_x пленок не превышала 300 нм.

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования особенностей синтеза слоев сверхтвердых материалов в условиях ионного ассистирования. На основе экспериментальных данных установлены зависимости образования sp^3 -связанного нитрида бора от параметров процесса (энергии и плотности тока бомбардирующих ионов, соотношения рабочих газов и температуры подложки) показывающие, что фактором, наиболее полно характеризующим процесс ионного ассистирования, является импульс, воздействующий на осажденный атом конденсирующейся фазы и образование sp^3 -связанного нитрида бора достигается в узком диапазоне значений импульса порядка $40 - 90 (\text{эВ} \times \text{а.е.м.})^{1/2}$ [2 - 5, 11 - 17].
2. Разработан способ получения алмазоподобных покрытий для защиты и просветления ИК германиевой оптики, где в качестве источника углерода используется комбинация реакции диссоциации углеводородов в плазме тлеющего разряда MPC и ионного распыления графитовой мишени (метод реактивного магнетронного распыления). Данный способ нанесения покрытий позволил получать защитные АПП с управляемым показателем преломления и коэффициентом поглощения. Применение АПП позволило повысить пропускание германиевого окна до 92 % на длине волны 10.5 мкм [8].
3. Разработано и создано экспериментальное оборудование для формирования тонкопленочных покрытий методом двойного ионно-лучевого распыления, где для генерации ионных потоков используются двухлучевой ионный источник на основе ускорителя с анодным слоем или

- независимый источник ионов на основе торцевого коллового ускорителя с двойным анодным оригинальной конструкции [4, 6, 8, 16, 18, 19].
4. Разработана методика расчета и проектирования магнетронных распылительных систем несбалансированного типа, которая связывает геометрические параметры магнетронной распылительной системы с его разрядными характеристиками. Для количественной оценки степени несбалансированности магнетронных распылительных систем введены понятия коэффициента несбалансированности и коэффициента геометрической несбалансированности МРС, которые имеют прямую связь с отношением ион/атом на поверхности конденсации [1, 7, 9, 10].
 5. Разработана магнетронная распылительная система несбалансированного типа с управляемым соотношением ион/атом на поверхности конденсации. Применение дополнительного соленоида позволило достигать изменения конфигурации магнитных полей в области мишень-подложка практически без искажения основной магнитной ловушки, что в свою очередь позволяет независимо регулировать поток осаждаемого материала, плотность тока и энергию бомбардирующих ионов [7, 9].
 6. Проведены исследования особенностей построения магнитных систем МРС. Установлено, что применение несбалансированной конфигурации магнитного поля МРС позволяет в несколько раз увеличить плотность ионного тока бомбардирующего подложку. Плотность ионного тока МРС с дополнительным соленоидом достигает 25.0 mA/cm^2 на оси магнетрона при токе разряда МРС $I_r = 3.0 \text{ A}$, и примерно, на порядок величины превышает плотность ионного тока обычной МРС и в три – четыре раза – несбалансированной МРС с усиленным боковым магнитным полем. [7, 10].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи и материалы конференций

1. Svadkovski I.V., Golosov D.A., Zavatskiy S.M. Characterisation parameters for unbalanced magnetron sputtering systems // Vacuum.- 2002.- Vol. 68, № 4.- P. 283-290.
2. Голосов Д.А. Свойства, применение, и методы анализа тонких пленок нитрида бора // Электронная обработка материалов.- 1999.- №3.- С. 17-24.
3. Голосов Д.А. Методы получения тонких пленок нитрида бора // Электронная обработка материалов.- 1999.- № 2.- С. 57-65.
4. Голосов Д.А., Свядковский И.В., Телеш Е.В., Достанко А.П. Структурно-фазовые и трибологические свойства пленок нитрида бора, полученных

методом двойного ионно-лучевого распыления // Электронная обработка материалов.- 1999.- № 4.- С. 51-58.

5. Golosov D.A., Svadkovski I.V., Dostanko A.P., Zavatski S.M., Dudin S.I. Research of ion bombardment influence on boron nitride films phase // III International Conference Plasma physics and plasma technology: Contributed papers, Minsk, Belarus, September 18–22, 2000 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus.- Minsk, 2000.- Vol. 2.- P. 444 – 447.

6. Zavatskiy S.M., Khokhlov A.E., Golosov D.A., Svadkovski I.V., Dostanko A.P. Oxide films deposition using reactive ion beam sputtering with differentiated gas supply // III International Conference Plasma physics and plasma technology: Contributed papers, Minsk, Belarus, September 18–22, 2000 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus.- Minsk, 2000.- Vol. 2.- P. 441– 443.

7. Svadkovski I.V., Dostanko A.P., Golosov D.A., Zavatskiy S.M. Developing and investigation of unbalanced magnetron sputtering system // III International Conference Plasma physics and plasma technology: Contributed papers, Minsk, Belarus, September 18–22, 2000 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus.- Minsk, 2000.- Vol. 2.- P. 716-719.

8. Kotov D.A., Svadkovski I.V., Dostanko A.P., Golosov D.A. Low energy ion source for thin film technology // III International Conference Plasma physics and plasma technology: Contributed papers, Minsk, Belarus, September 18–22, 2000 / Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Sciences of Belarus.- Minsk, 2000.- Vol. 2.- P. 712–715.

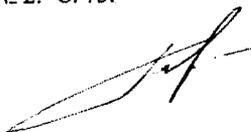
9. Svadkovski I.V., Golosov D.A., Zavatskiy S.M. Low pressure unbalanced magnetron and ion beam assisted magnetron sputtering // II international symposium New electrical and electronic technologies and their industrial implementation NEET' 2001: Contributed papers, Kazimierz Dolny, Poland, February, 14-17, 2001.- P. 217-221.

10. Голосов Д.А., Сवादковский И.В., Завадский С.М. Методика расчета магнетронных распылительных систем несбалансированного типа // Взаимодействие излучения с твердым телом: Материалы IV Междунар. научн. конф., Минск, Беларусь, 3-5 окт. 2001 г. / БГУ, НАН РБ, Мин. Образования РБ.- Минск, 2001.- С. 338-340.

Тезисы докладов

11. Golosov D.A., Svadkovski I.V., Dostanko A.P., Zavadski S.M. The cubic boron nitride films prepared by the dual ion beam deposition technique // European Materials Research Society spring meeting E-MRS'97: Book of abstracts, Strasbourg, France, June 16-20, 1997. P. K-31.

12. Голосов Д.А., Свадковский И.В., Завадский С.М., Достанко А.П. Влияние ионной бомбардировки на параметры пленок нитрида бора // Взаимодействие излучения с твердым телом: Тезисы II Междунар. научн. конф., Минск, Беларусь 23-25 сентября 1997 г. / БГУ, НАН РБ, Мин. Образования РБ.- Минск, 1997.- С. 84.
13. Golosov D.A., Svadkovski I.V., Zavadski S.M., Dostanko A.P. Ion bombardment effect in boron nitride films formation. // Materials Research Society fall meeting MRS'97: Book of abstracts, Boston, USA, December 1-5, 1997.- P. B-6.
14. Голосов Д.А., Котов Д.А. Исследование фазового состава тонких пленок нитрида бора, полученных методом двойного ионно-лучевого распыления // Физика конденсированных сред: Тез. докл. V республиканской науч. конф. студентов и аспирантов., Гродно, Беларусь, 21-25 апр. 1997 г. / Гродненский государственный университет. Гродно, 1997.- С. 33.
15. Svadkovski I.V., Golosov D.A., Dostanko A.P., Kotov D.A., Zavadski S.M. Influence of the assisting ion beam energy ranges on the BN films structure // European Materials Research Society spring meeting E-MRS'98: Book of abstracts, Strasbourg, France, June 16-19, 1998.- P. J-56.
16. Голосов Д.А., Свадковский И.В., Достанко А.П., Котов Д.А. Исследование влияния энергетического диапазона ассистирующего ионного пучка на структурно-фазовые параметры пленок BN // Тез. докл. республиканской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии". Минск, Беларусь, 21-22 мая 1998. / Материалы, технологии, инструменты.- 1998.- Том 3, № 2.- С. 66.
17. Голосов Д.А., Буховец М.К. Влияние режимов осаждения на структурно-фазовые параметры тонких пленок нитрида бора // Физика конденсированных сред: Тез. докл. VI республиканской науч. конф. студентов и аспирантов., Гродно, Беларусь, 22-24 апреля 1998 г. / Гродненский государственный университет. Гродно, 1998.- С. 41.
18. Bukhovets M.K., Svadkovski I.V., Golosov D.A. The properties TiB_2 films prepared by the dual ion beam deposition technique // Third International Conference MPSL '99: Book of abstracts, Sumy, Ukraine, May 25-29, 1999.- P. 157.
19. Котов Д.А., Свадковский И.В., Голосов Д.А. Многофункциональный источник низкоэнергетичной плазмы для процессов ионно-лучевой очистки поверхности, модификации и синтеза поверхностных структур // Тез. докл. республиканской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии". Минск, Беларусь, 21-22 мая 1998. / Материалы, технологии, инструменты.- 1998.- Том 3, № 2.- С. 73.



РЭЗЮМЭ

Голасаў Дзмітрый Анатольевіч

Іонна-плазменныя сістэмы для нанясення слаёў звышцвёрдых матэрыялаў
ва ўмовах іоннага асіціравання

Ключавыя словы: тонкія плёнкі, звышцвёрдыя матэрыялы, нітрыд бора, алмазападобныя тонкія плёнкі, нітрыд углерода, іоннае асіціраванне, двойное іонна-прамяневае распыленне, незбалансаванае магнетроннае распыленне

Праведзены даследванні ефектаў узаемадзеяння інтэнсіўных іонных патокаў з паверхняй у працэсах роста і мадыфікацыі тонкаплёначных слаёў на аснове звышцвёрдых матэрыялаў. Распрацавана і створана эксперыментальнае абсталяванне для фарміравання тонкаплёначных пакрыццяў метадам двойнога іонна-прамяневага распылення і незбалансаванага магнетроннага распылення.

Праведзены комплекс даследванняў па вывучэнню ўплыву параметраў асаджэння на структурна-фазавыя параметры пленак нітрыда бора, атрыманных метадам двойнога іонна-прамяневага распылення. Устаноўлены залежнасці ўтварэння sp^3 -злучанага нітрыда бора ад параметраў працэса (энергіі і шчыльнасці тока бомбардыруючых іонаў, суадносін рабочых газаў і тэмпературы падложкі). Выяўлена, што фактарам, найбольш полна характэрызуючым працэс іоннага асіціравання, з'яўляецца імпульс, уносімы у кандэнсіруючую фазу, на осаджаны атам.

Распрацавана метадыка разліка магнетронных распыляльных сістэм незбалансаванага тыпу, якая звязвае геаметрычныя параметры магнетрона з яго разраднымі характарыстыкамі. Для колькаснай ацэнкі ступені незбалансаванасці магнетронных распыляльных сістэм уведзены паняцці каэфіцыента незбалансаванасці і каэфіцыента геаметрычнай незбалансаванасці магнетрона, якія маюць прамую сувязь з адносінамі іон/атам на паверхні кандэнсацыі.

На аснове метада незбалансаванага магнетроннага распылення распрацаваны спосаб утварэння алмазападобных і CN_x пакрыццяў. Распрацавана тэхналогія ўтварэння алмазападобных пакрыццяў для абароны і прасвятлення інфрачырвонай германіевай оптыкі, дзе ў якасці крыніцы осаджаемага матэрыяла выкарыстоўваецца камбінацыя рэакцый дысацыяцыі вуглявадародаў у плазме тлеючага разрада магнетрона і іоннага распылення графітавай мішэні. Устаноўлены залежнасці трыбалагічных, электронных і аптычных уласцівасцяў алмазападобных і CN_x пленак ад інтэнсіўнасці, энергіі іоннай бомбардыроўкі і тэмпературы падложкі ў цячэнні роста плёнкі.

РЕЗЮМЕ

Голосов Дмитрий Анатольевич

Ионно-плазменные системы для формирования слоев сверхтвердых материалов в условиях ионного ассистирования

Ключевые слова: тонкие пленки, сверхтвердые материалы, нитрид бора, алмазоподобные тонкие пленки, нитрид углерода, ионное ассистирование, двойное ионно-лучевое распыление, несбалансированное магнетронное распыление

Проведены исследования эффектов взаимодействия интенсивных ионных потоков с поверхностью в процессах роста и модификации тонкопленочных слоев на основе сверхтвердых материалов. Разработано и создано экспериментальное оборудование для формирования тонкопленочных покрытий методом двойного ионно-лучевого распыления и несбалансированного магнетронного распыления.

Проведен комплекс исследований по изучению влияния параметров осаждения на структурно-фазовые параметры пленок нитрида бора, полученных методом двойного ионно-лучевого распыления. Установлены зависимости образования sp^3 -связанного нитрида бора от параметров процесса (энергии и плотности тока бомбардирующих ионов, соотношения рабочих газов и температуры подложки). Обнаружено, что фактором, наиболее полно характеризующим процесс ионного ассистирования, является импульс, вносимый в конденсирующуюся фазу, на осажденный атом.

Разработана методика расчета магнетронных распылительных систем несбалансированного типа, которая связывает геометрические параметры магнетрона с его разрядными характеристиками. Для количественной оценки степени несбалансированности магнетронных распылительных систем введены понятия коэффициента несбалансированности и коэффициента геометрической несбалансированности MPC, которые имеют прямую связь с отношением ион/атом на поверхности конденсации.

На основе метода несбалансированного магнетронного распыления разработан способ получения алмазоподобных и CN_x покрытий. Разработана технология получения алмазоподобных покрытий для защиты и просветления ИК германиевой оптики, где в качестве источника осаждаемого материала используется комбинация реакций диссоциации углеводородов в плазме тлеющего разряда MPC и ионного распыления графитовой мишени. Установлены зависимости трибологических, электрических и оптических свойств алмазоподобных и CN_x пленок от интенсивности, энергии ионной бомбардировки и температуры подложки в течении роста пленки.

SUMMARY**Golosov Dmitriy Anatolyevich****Ion-plasma systems for deposition of superhard thin films by ion-assisted method**

Key words: thin films, superhard materials, boron nitride, diamond-like carbon thin films, carbon nitride, ion-assisted deposition, dual ion-beam deposition, unbalanced magnetron sputtering

Investigation of interaction effects of ion fluxes with surface during growth and modification of thin films based on of superhard materials has been made. Experimental equipment for thin films formation was developed and made by dual ion-beam deposition and unbalanced magnetron sputtering methods.

A series of investigations of deposition parameters' influence on the structure and phase of boron nitride thin films, deposited by dual ion-beam deposition method has been made. The dependences of sp^3 -bonded boron nitride formation on process parameters (ion energy, ion current density, working gases ratio and substrate temperature) were determined. It was determined that the factor, most fully characterizing the ion-assisted process is momentum transferred into the film by the bombarding ions per deposited atom.

Method of estimation of unbalanced magnetron sputtering systems, which bonded geometrical parameters of magnetron with its discharge characteristics have been developed. The following parameters, serving as criteria for estimation of unbalanced magnetron parameters have been developed: the unbalance coefficient and the coefficient of magnetron geometrical unbalance, which has a direct link with ion-to-atom ratio on condensing surface.

On the basis of unbalanced magnetron sputtering methods the technique of diamond-like carbon and CN_x coatings deposition was developed. Technology of diamond-like carbon deposition for protective coatings and blooming of IR germanium windows, where as a source of deposited material used the combination of dissociation reaction of hydrocarbons in magnetron plasma and sputtering of graphite target was developed. Dependences of tribological, electrical and optical properties of DLC and CN_x films vs. intensity and ion bombardment energy and substrate temperature were determined.

Голосов Дмитрий Анатольевич

**ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
СЛОЕВ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ
ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ**

Специальность **05.27.06** – Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 05.12.2002.

Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная.

Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 1,63.

Уч.- изд. л. 1,3.

Тираж 90 экз.

Заказ 732.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

“Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”

Лицензия ЛП №156 от 05.02.2001.

Лицензия ЛВ №509 от 03.08.2001.

220013, Минск, ул. П. Бровки, 6.