

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Т.Д. Раджабов, А.М. Назаров, М.П. Парпиев, Ю.В. Писецкий, Д.Э. Курбанов, Т.А. Уразов
Ташкентский государственный технический университет
ул. Университетская, 2, Ташкент, Узбекистан, nazarov_58@rambler.ru

Для осаждения просветляющих покрытий и покрытий из других материалов было разработано электроразрядное устройство простой конструкции с цилиндрическим тигельным испарителем. В устройстве использован эффект зажигания разряда в полом катоде с горячим испаряющимся анодным электродом.

Введение

Большой научный и практический интерес представляет исследование воздействий ионных потоков в вакууме в комбинации с осаждением покрытий на элементный состав, структуру и свойства материалов и систем покрытие-основа, в том числе модификация металлов, оксидов, полимеров. Следует отметить сравнительно высокую эффективность воздействия потоков «тяжелых» ионов на материалы, специфическое сочетание происходящих термических, радиационных и химических процессов, многообразные проявления атомных взаимодействий в свойствах обрабатываемых материалов и покрытий. Комплексное изучение этих явлений, по сути, является самостоятельной проблемой в физике твердого тела и материаловедении.

Значительные успехи уже достигнуты как в области производства изделий электронной техники, так и при обработке конструктивных материалов, в том числе нанесении покрытий. Следует отметить разработку таких высокоэффективных технологических вакуумных процессов как ионное легирование, в том числе импульсными потоками и конденсацию покрытий с ионной бомбардировкой при вакуумно-дуговом испарении материалов (КИБ-процессы). В настоящее время эти технологии широко используются при введении примесей в полупроводниковые материалы, формировании защитно-декоративных покрытий, например, нанесении нитрида титана, износостойких покрытий.

Заметный интерес представляют менее изученные процессы вакуумного ионно-стимулированного осаждения функциональных покрытий (ion plating, ion beam assisted deposition) с использованием вариантов ионного воздействия на формируемое покрытие, в частности, частичной ионизации потока паров металлов. Комбинированное с ионной обработкой осаждение покрытий расширяет возможности получения структур типа покрытие-основа за счет управления параметрами ионного потока.

Основная часть

В настоящее время отсутствует конкретная информация по важным аспектам физических процессов, происходящих при конденсации покрытий толщиной 0,01-1,0 мкм с одновременной ионной обработкой и (или) последующей имплантацией ионов. Различие материалов покрытий и подложек, разнообразие устройств и режимов ионной и ионно-плазменной, а также последую-

щей обработки не позволяет определить количественные критерии эффективности ионных воздействий на параметры покрытий, полностью раскрыть механизмы, а главное - правильно оценить возможности ионной обработки материалов.

Сравнительно мало изучено влияние ионной обработки на проводящие, отражающие, маскирующие, полимерные покрытия, практически нет комплексных исследований по многослойным структурам сложного состава. Важным представляется выяснение вопросов, связанных с количественным соотношением режимов ионно-стимулированных процессов и параметров формируемых функциональных покрытий, а также определение совокупности параметров ионного осаждения или высокоэнергетичной ионной обработки, с помощью которых можно описать воздействие ионов на конденсат (структуру покрытие-основа). Последняя проблема нетривиальна, поскольку в реальной системе ионного осаждения энергетические параметры связаны с вакуумными и термическими, а также зависят от химических свойств материалов, режимов предварительной или последующей ионной обработки.

Много вопросов остается в сфере создания научных основ для принципиально новых процессов формирования функциональных покрытий с улучшенными адгезионными, коррозионными, защитно-декоративными и другими характеристиками на базе вакуумных ионных обработок и их сочетания с другими технологиями. Реализация перспективных ионных методов обработки поверхности материалов в промышленном производстве задерживается из-за недостаточной изученности возможностей таких процессов как формирование покрытий с ионной обработкой и отсутствия соответствующего оборудования. Исключение в какой-то степени составляют специальные вакуумно-дуговые установки и процессы нанесения покрытий TiN и ряда металлов, но эти методы практически не используются в микроэлектронике, оптике, обработке полимеров из-за высокой температуры и наличия капельной фракции в потоке.

Научный и практический интерес представляет исследование влияния физико-технологических факторов ионной обработки на основные параметры композиционных структур покрытие-подложка. Создание новых устройств осаждения и модификации материалов позволяет создавать ряд качественно новых изделий и установок, в том числе для обработки металлов, полупроводников и создания композиционных материалов.

Уменьшение количества отражаемого света в однослойных просветляющих покрытиях происходит вследствие интерференции лучей, отраженных от границ пленка-воздух и пленка-подложка. Значение показателя преломления пленки подбирается таким образом, чтобы интенсивности отраженных лучей от обеих границ пленки были бы равны. Если толщина пленки обеспечивает разность хода отраженных лучей, равную половине длины волны падающего излучения, то отраженные лучи вследствие интерференции уничтожаются.

Известно, что существует прямая аналогия между оптическими просветляющими покрытиями и согласующими устройствами СВЧ. Для линий передачи СВЧ основной характеристикой является волновое сопротивление, которое аналогично показателю преломления оптической среды.

С точки зрения техники СВЧ все рассмотренные выше просветляющие покрытия соответствуют одно или двухкаскадным трансформаторам сопротивления на отрезках длинных линий с фиксированным волновым сопротивлением.

Широкие исследования проблемы согласования в технике СВЧ показали возможность и других решений: согласование с помощью цепей сосредоточенного характера; согласование с помощью плавных трансформаторов на длинных линиях.

Цепи сосредоточенного характера: обычно согласующие устройства такого типа представляют собой фильтры низких частот или полосовые, при этом ФНЧ более широкополосны. Цепи сосредоточенного характера мало пригодны как просветляющие структуры солнечных элементов, вследствие очень малой длины волны оптического излучения (так как размер структур должен быть много меньше длины волны). Однако с развитием технологий наноструктур построение соответствующих просветляющих структур становится вполне возможным. Отсутствие технологий изготовления в настоящее время препятствует их практическому применению.

Некоторые возможности дает самоорганизация наноструктур на поверхности кремния, чем видимо и объясняется наличие положительного эффекта в К.П.Д. солнечных элементов после нанесения на поверхность пленок нанометровой толщины, что описано в литературе.

Согласование с помощью плавных трансформаторов на длинных линиях: Согласование с помощью аналогов плавных (экспоненциальных) трансформаторов на длинных линиях вполне возможно технически. Для этого необходимо покрыть кремний толстым (толщина много больше длины волны) слоем с показателем преломления, плавно меняющимся от показателя преломления покровного материала до показателя преломления кремния. Большая толщина обычно приводит к значительным потерям на рассеяние и поглощение. Однако такие покрытия очень широкополосны спектрально и практически не имеют угловой зависимости коэффициента отражения. Они могут быть весьма перспективны при условии разработки технологии получения прозрачных сред, содержащих наноразмерные металличе-

ские кластеры в различной концентрации, что приводит к соответствующему изменению эффективного показателя преломления пленки. Такие среды в технике СВЧ называются «искусственными» диэлектриками и на их основе делают линзы СВЧ.

Эффективный показатель преломления пленки можно также менять в процессе реактивного напыления металлов (титана, тантала), изменяя концентрацию кислорода. Пленка оксида также будет содержать наноразмерные металлические кластеры в различной концентрации.

Главные трудности нового подхода к просветлению – большая необходимая толщина пленки. Толщины должна быть не менее 2-3 длин волн.

Однако разработка технологии получения «искусственного» диэлектрика оптического диапазона в виде оксидного слоя с металлическими нанокластерами открывает новые возможности при разработке традиционных интерференционных покрытий. Пленка оксида может содержать наноразмерные металлические кластеры разного размера и в различной концентрации.

Появляется возможность плавного изменения показателя преломления, а диапазон показателей преломления расширяется в сторону больших значений. Некоторое поглощение в «искусственном» диэлектрике видимо будет несущественно ввиду малой толщины слоя.

Исходя из выше изложенного можно сделать вывод, что разработка технологии получения «искусственного» диэлектрика оптического диапазона в виде оксидного слоя с металлическими нанокластерами в процессе реактивного напыления металлов (титана, тантала) является достаточно актуальной задачей.

Для создания технологии получения пленок с регулируемым показателем преломления для просветляющих покрытий солнечных элементов рассмотрены возможности экспериментальных методов исследования газоразрядных и других вакуумных процессов, а также методов измерения параметров прозрачных пленок широкозонных полупроводниковых материалов с применением существующего оборудования вакуумного напыления и диагностики поверхности, а также спектрофотометрическое и эллипсометрическое оборудование. Выделены три возможных направления: нанесение алмазоподобных покрытий на кремниевые структуры в вакууме с использованием источника ионов с холодным катодом и рабочих веществ типа органических растворителей; подбор режимов осаждения алмазоподобных покрытий; исследование свойств просветляющих покрытий в зависимости от режимов осаждения, предварительной и последующей обработки поверхности кремния.

Нанесение покрытий типа оксидов и оксинитридов титана, циркония, тантала и их сочетания по составу и толщинам в пределах 0.05-1 мкм с металлическими нанокластерами. Разработка эффективных устройств магнетронного распыления в сочетании с источниками ионов для обработки поверхности и реактивного осаждения просветляющих покрытий. Исследование свойств просветляющих покрытий в зависимости от ре-

жимов осаждения (состава рабочих газов и других факторов), предварительной и последующей ионной обработки поверхности кремния и покрытий.

Нанесение просветляющих покрытий на основе кремния и его оксидов на основе процессов термоионного осаждения (конденсации с ионной обработкой поверхности). Разработка устройств термоионного осаждения многослойных покрытий, исследование параметров покрытий от режимов осаждения (состав, структура, оптические и физико-химические свойства).

Электроразрядное устройство ионного осаждения включает в себя следующие основные элементы: полый катод, тигель-анод, накальный катод, заслонку и изолированную подложкодержатель, вводы, блоки управления и питания. Конструкция электроразрядного устройства с полым катодом и горячим тиглем-анодом приведена на рис.1.

Устройство обеспечивает следующие основные характеристики:

- потребляемая мощность в режиме осаждения покрытий, кВт: до 2.5;
- степень вакуума в «стартовом» режиме устройства, Па: 10^{-3} ;
- температура тигля-анода с рабочим материалом, °С: до 2000;
- масса испаряемого в одном цикле рабочего материала, г: до 20;
- скорость осаждения металлических покрытий, нм/с: до 50;
- обрабатываемая площадь (без вращения подложек), дм^2 : 3-10;
- плотность ионного тока на подложкодержателе, мА/см^2 : 0.1-0.5;
- степень ионизации потока паров металлов, %: 1-5.

В связи с тем, что последний вариант позволяет создать хорошо контролируемые условия испарения материала, и его дальнейшей ионной обработки нами было разработано электроразрядное устройство простой конструкции с цилиндрическим тигельным испарителем [1].

Для проведения исследований имеется экспериментальная база, особенно в области устройств вакуумного напыления и ионной модификации поверхности. Так, например, для осаждения покрытий Al, сплава Al-Si, Cu, Ag, Au, Ni, Ti,

SiO и покрытий из других материалов с максимальной температурой испарения до 2000°C и большой (более 0.1 м²) площадью обработки было разработано электроразрядное устройство простой конструкции с цилиндрическим тигель-

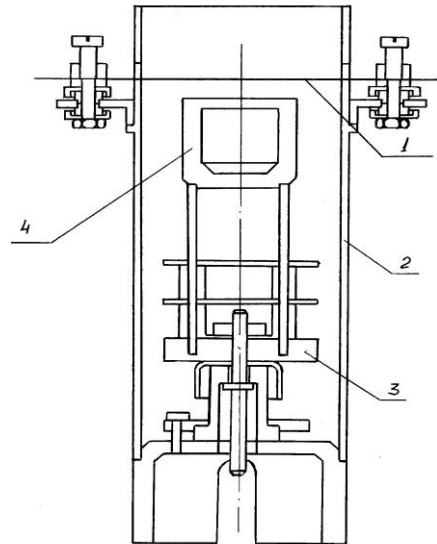


Рис. 1. Устройство ионного осаждения с полым катодом и тиглем-анодом: 1-прямокальный W катод, 2-полый катод, 3-изолированная платформа с тепловыми экранами, 4-тигель-анод под высоким потенциалом.

ным испарителем. В устройстве использован эффект зажигания разряда в полым катодом с горячим испаряющимся анодным электродом.

Заклучение

Разработанное устройство использовалось для нанесения равномерных по толщине покрытий из Al, Cu, Ag, Ni и других материалов толщиной до 1 мкм на группы изделий типа кремниевых шайб, дисков диаметром до 400мм и металлических образцов. Для расширения возможностей устройства при формировании функциональных покрытий опробованы варианты устройства с продольным магнитным полем и узлом загрузки калиброванных навесок рабочих материалов непосредственно в горячий тигель.

В зависимости от режима напыления и обработки состав пленок колебался от чисто металлической до оксида. Методом эллипсометрии были измерены показатели преломления и толщина пленок на кремнии. Получены пленки с эффективным показателем преломления более 2.4.

Список литературы

1. Radjabov T.D., Kamardin A.I., Nazarov A.M., Sharudo A.V. Production of metal coatings by a method ion assisted deposition // 16-th International Conference on Ion Implantation Technology, Marseille, France, June 11-16, 2006.

GETTING ANTI-REFLECTIVE COATINGS FOR SOLAR CELLS

T.D. Radzhabov, A.M. Nazarov, M.P. Parpiev, Yu.V. Pisetskiy, D.E. Kurbanov, T.A. Urazov
Tashkent State Technical University, University st. 2, Tashkent, Uzbekistan, nazarov_58@rambler.ru

To create a technology of antireflection coatings solar cells with an adjustable refractive index, considered the possibilities experimental methods of investigation discharge and other vacuum processes using vacuum deposition equipment and diagnostic surface. Been considered methods of measurement parameters of transparencies membrane wideband semiconductor materials spectrophotometric and ellipsometric equipment.

Developed the vacuum deposition device and ion surface modification. For coating deposition Al, alloy Al-Si, Cu, Ag, Au, Ni, Ti, SiO, and coatings of other materials with a maximum temperature of 2000°C for evaporation in a large processing area, is provided a device of simple construction with a cylindrical evaporator crucible. In this device using the effect of discharge ignition in the hollow cathode with hot vaporizing the anode electrode.