

приповерхностном слое приводит к повышению гидрофильности материалов, что может быть очень важным для медицинского применения материалов.

Для полимерных материалов из ПЛА, подвергнутых воздействию электронного пучка, не наблюдается существенных изменений в ИК спектрах. Присутствуют основные характерные для полилактида полосы. Согласно РЭМ исследований было показано, что в исходном образце ПЛА имеются структуры с достаточно высокой степенью кристаллизации. В образце присутствуют домены различных размеров: от 7 до 65 мкм, с преобладанием 15-35 мкм. При воздействии электронным пучком наблюдаются интенсивные процессы реструктуризации в результате интенсивного энергетического воздействия. После воздействия пучком электронов распределение доменов по размерам изменяется, наблюдается преобладание доменов 95-110 мкм. Такие процессы реструктуризации приводят к повышению кристалличности материала и повышению механических свойств.

Таким образом, проведены исследования по модификации поверхности полимерных материалов электронным пучком. Установлено протекание химических реакций, улучшение физико-химических характеристик, что может быть перспективным для применения их в медицинских целях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ_а 15-08-05496.

Список литературы:

1. Григорьев Ф.И. Ионно-плазменная обработка полимерных материалов в технологии микроэлектроники: Учебное пособие. М.: Изд-во МГИЭМ, 2008. – 36 с.
2. Мякин С.В., Сычев М.М., Васильева И.В. Электронно-лучевое модифицирование функциональных материалов. – СПб: Изд-во ПГУПС, 2006. – 104 с.
3. Брацыхин Е.А., Шульгина Э.С. Технология пластических масс: Учебное пособие. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.
4. Burdovitsin V.A., Oks E.M. Fore-vacuum plasma-cathode electron sources // Laser and particle beams. – 2008. – V.26. – I. 04. – P. 619–635.
5. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. – М.: Высш. шк., 1971. – 264 с.

МЕТОДЫ НАПЫЛЕНИЯ УЛЬТРАТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

А.В. Тесленок, студент гр. 4НМ41

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30;

Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия, 634055,

г.Томск, просп. Академический, 2/3,

E-mail: teslenokaljona@gmail.com

Ультратонкие пленки, толщина которых не превышает 10 нм, обладают широким кругом имеющихся и потенциальных применений, такие как: электроника

(металлизация при изготовлении микросхем), оптика (высококачественные зеркала), энергосбережение (многослойные низкоэмиссионные теплоотражающие покрытия $\text{MeOx}/\text{Cu}/\text{MeOx}$) и т.д. Огромный потенциал данного рода покрытий обусловлен уникальными свойствами, нехарактерными для объемных материалов. Это связано с увеличением влияния механизмов нуклеации пленки на её итоговые характеристики. Однако проблема управления свойствами ультратонких пленок в процессе их роста находится в центре внимания ученых, занимающихся физикой поверхности уже несколько десятилетий. В настоящее время используется несколько методов нанесения тонких пленок. Данная статья посвящена обзору наиболее распространенных методов вакуумного напыления, с помощью которых может осуществляться формирование ультратонких пленок.

Метод термического вакуумного напыления. Этот метод характеризуется простотой и высокой скоростью осаждения. Сущность данного метода заключается в нагреве вещества в вакууме до температуры, при которой кинетическая энергия атомов и молекул вещества становится достаточной для их отрыва от поверхности мишени и движения до подложки. При этом давление паров испаренного вещества на несколько порядков превышает давление остаточных газов. Атомарный поток распространяется прямолинейно, а при столкновении с поверхностью подложки атомы и молекулы конденсируются на ней. Главными преимуществами данного метода является его простота, доступность и высокая скорость осаждения, что обуславливает его широкое использование в тонкопленочных технологиях. Однако, пленки, полученные термическим вакуумным напылением, имеют, как правило, неоднородный химический состав и недостаточную стабильность [1].

Электронно-лучевое испарение. В данном методе нагрев вещества осуществляется мощным электронным пучком. Обеспечивается высокая скорость осаждения, но низкий энергетический КПД (1-5%), поскольку основная часть энергии расходуется на нагрев тигля, рентгеновское и УФ излучение, а также образование вторичных электронов (до 25% энергии первичного пучка). При этом вторичные электроны бомбардируют подложку, на которые наносятся пленки, нагревая их вплоть до 1000K и вызывая образование радиационных дефектов в формирующейся пленке [1].

Вакуумно-дуговое нанесение покрытий (катодно-дуговое осаждение) – это физический метод нанесения покрытий (тонких плёнок) в вакууме, путём конденсации на подложку (изделие, деталь) материала из плазменных потоков, генерируемых на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги сильноточного низковольтного разряда, развивающегося исключительно в парах материала электрода [2].

Наряду с высокой скоростью напыления и высокой степенью ионизации распыленного вещества дуговой метод имеет существенный недостаток, ограничивающий его применения в технологиях нанесения ультратонких пленок – наличие микрокапельной фазы в плазменном потоке.

Катодное распыление (ионное распыление). Данный метод основан на явлении распыления катода в результате бомбардировки его поверхности ионизированными атомами разряженного газа. Атомы, вылетающие с поверхности катода при его распылении, распространяются в окружающем пространстве и конденсируются на подложке. При подаче постоянного напряжения между катодом и анодом (~1...5 кВ) возникает тлеющий разряд. Образующиеся при этом ионы бомбардируют катод и вызывают распыление атомов мишени. Методы получения пленок ионным

распылением материала мишени обладают рядом преимуществ перед другими методами. Во-первых, поскольку ионное распыление является низкотемпературным процессом, возможно синтезирование соединений, которые практически невозможно получить с помощью термического испарения. Наносимые пленки имеют более высокую адгезию к подложке, обеспечивается постоянство химического состава распыляемого материала и более высокая однородность пленки по толщине. Поскольку распыление осуществляется не из точечного источника, возможно напыление пленок на поверхности большой площади.

Ионно-лучевой синтез. Ионно-лучевой синтез основан на получении тонких пленок с применением ионной имплантации. При ионно-лучевом синтезе энергия внедрения достигает единиц МэВ и более. Для того, чтобы концентрация имплантированных атомов была достаточной для формирования необходимого количества новой фазы, доза внедряемых ионов достигает 10^{16} ион/см². Величина дозы выбирается, исходя из задаваемой структуры синтезируемой пленки (толщина, фазовый состав, сплошность и т.п.). Синтезируемые фазы формируются в тонком приповерхностном слое (<1мкм) в аморфном или кристаллическом состоянии непосредственно в процессе имплантации. Для кристаллизации и улучшения структуры синтезируемого соединения применяют термический, световой, электронный или ионный отжиг.

К преимуществам ионно-лучевого синтеза можно отнести малое время процесса введения примесей, чистота технологии, низкая температура мишени. Недостатком данного метода является высокая стоимость оборудования.

Магнетронное распыление является наиболее распространенным методом формирования тонких пленок. Одним из главных достоинств магнетронного распыления является возможность управления свойствами растущей пленки посредством выбора рабочих параметров (мощность, давление, плотность ионного тока и т.д.), поэтому магнетронное распыление позволило существенно продвинуться по пути создания покрытий с управляемыми свойствами.

Поскольку магнетронное напыление является ионно-плазменным методом, распыление материала осуществляется за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа (обычно аргона), образующимися в плазме аномального тлеющего разряда. Так как разряд горит в скрещенных электрическом и магнитном полях увеличивается эффективность ионизации рабочего газа и над мишенью образуется область плотной плазмы (до 10^{11} см⁻³). Благодаря этому, метод магнетронного распыления обладает более широкими возможностями применения и является наиболее перспективным, по сравнению с рассмотренными выше.

Одним из важных достоинств магнетронного распыления является уменьшение степени электронного воздействия на подложку. Поскольку, высокоэнергетичные вторичные электроны захватываются магнитной ловушкой, снижается электронная бомбардировка поверхности подложки, вызывающая её нагрев. Данное преимущество позволяет избежать перегрева подложек из материалов с низкой термостойкостью [3].

Сильноточное импульсное магнетронное распыление (HIPIMS – от. англ. High-power impulse magnetron sputtering) - одно из наиболее молодых и активно развивающихся направлений импульсного магнетронного распыления.

С помощью униполярных сильноточных импульсов питания обеспечивается плотность мощности магнетронного разряда от 1 до 3 кВ/см², при этом

концентрация электронов вблизи мишени магнетрона может достигать до $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В результате увеличивается ионизации атомов рабочего газа и распыленного материала (до 90 %), по сравнению с магнетронным распылением на постоянном токе. Увеличивается степень ионного воздействия на подложку, что положительно сказывается на качестве напыляемого покрытия. HIPIMS позволяет наносить сверхплотные и гладкие металлические покрытия, пленки сложного состава (оксиды, нитриды), управлять фазовым составом и увеличивать удельную проводимость покрытий.

В работе [4] проведен анализ металлических пленок, намыленных различными плазменными методами. Анализ показал, что покрытия, нанесенные с помощью сильнооточного разряда, имеют в среднем на 5-15 % более плотную структуру.

При нанесении ультратонких пленок важной задачей является обеспечение высокой прочности сцепления покрытия с подложкой. Импульсный магнетронный разряд высокой мощности показал себя особенно эффективным средством увеличения адгезии. В работах [5,6] с помощью HIPIMS осуществлялась предварительная подготовка поверхности перед нанесением покрытия. Бомбардировка поверхности подложки при сильнооточном разряде происходит непосредственно ионами металла, поэтому в приповерхностных слоях не происходит накопление аргона, а также реструктуризация поверхности, свойственная очистке в аргоновом разряде.

Таким образом, сильнооточное магнетронное распыление является наиболее перспективным среди перечисленных методов формирования ультратонких пленок. Перспективность данного метода обусловлена, не только необычными свойствами сильнооточного разряда по сравнению со стационарным магнетронным разрядом, но и с возможностями, которые в первую очередь становятся доступны за счет его свойств.

Список литературы:

1. Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г. Ионно-лучевые методы получения тонких пленок. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань, 2010. – 87 с.
2. А.В. Циркин Износостойкие покрытия: свойства, структура, технологии получения: методические указания к лабораторным работам. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 27 с.
3. А.И. Гусев. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнология. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
4. S. Mattias et al. On the film density using high power impulse magnetron sputtering // Surface and Coatings Technology. – 2010. – V. 205. – №2. – С. 591–596.
5. Ehiasarian A.P. High-power impulse magnetron sputtering and its applications // Pure and Applied Chemistry. – 2010. – V. 82. – № 6. – С 1247–1258.
6. Ehiasarian A.P., Wen J. G., Petrov I. Interface microstructure engineering by high power impulse magnetron sputtering for the enhancement of adhesion // Journal of Applied Physics. – 2007. – V. 101. – № 5.