

СВОЙСТВА АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ГИДОГЕНИЗИРОВАННЫХ ПЛЕНОК НА ГЕРМАНИИ. ИОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А.И. Семерикова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.С. Золкин
Национальный исследовательский Новосибирский государственный университет,
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, 630090
E-mail: tykva.anya@gmail.com

Введение. Технология синтеза аморфных углеродных гидрогенизированных (а-С:Н) пленок с контролируемыми свойствами постоянно развивается в связи с практическими применениями: в качестве просветляющих и защитных покрытий для оптики ИК диапазона [1] или солнечных элементов [2]. Повышение адгезии при сохранении других необходимых характеристик, таких как оптические свойства, твердость – одна из важных задач. Обычно формирование связывающего переходного слоя происходит в результате взаимодействия верхнего слоя подложки и осаждаемых атомов или молекул. Однако механические напряжения часто превосходят силы, связывающие покрытие с основой, и вызывают его отслоение. Возможным решением является усиление связи между основой и осаждаемым материалом за счет имплантации ионов углерода в материал подложки. В этом случае толщина переходного слоя существенно увеличивается, сцепление между атомами подложки и атомами покрытия возрастает. Мы использовали ионный источник (ИИ) с азимутальным дрейфом электронов, который дает возможность получать пучки ионов с энергией ионов от 0,5 до 3 кэВ. Высокоэнергетичные пучки (3 кэВ) способны обеспечить повышенную адгезию, а низкоэнергетичные пучки (0,6 кэВ) – благоприятные условия для роста. Цель работы – исследовать влияние адгезионного слоя путем осаждения высокоэнергетичных ионов на механические и оптические свойства а-С:Н пленок на Ge.

Методика синтеза. Камера откачивалась до остаточного давления 10^{-3} Па. В процессе осаждения давление составляло $5 \cdot 10^{-3}$ Па. В область ионизации подавался пропан (C_3H_8), расход – 1,4 - 4,2 млн/мин. Для очистки от адсорбированных атомов и молекул подложки обрабатывались ионами аргона с энергией 0,6 кэВ в течение 5 мин.

Для выяснения зависимости свойств покрытия от условий синтеза и наличия адгезионного слоя, применили три режима напыления. В первом режиме (А) пленки осаждались из ионных пучков с энергией 0,6 кэВ. Напряжение анода – 1 кВ, ток разряда – 20 мА. Во втором режиме (В) адгезионный слой формировался ионами рабочего газа со средней энергией 3 кэВ. Напряжение анода – 5 кВ, ток разряда – 50–60 мА. Затем энергия пучка уменьшалась до 0,6 кэВ. В третьем режиме (С) пленки напылялись из ионных пучков с энергией 3 кэВ в течение двух часов. Для компенсации пространственного заряда ионного пучка в режимах (В) и (С) использовали вольфрамовый эмиттер электронов.

Методика исследования. Толщины покрытий измерялись лазерным эллипсометром LEF – 752 на длине волны 632 нм в режиме многоугловых измерений. Твердость покрытия определялась методом наноиндентирования на сканирующем нанотвердомере «НаноСкан-3D». Адгезионную прочность пленок оценивали по критической нагрузке их отслоения от подложки при склерометрии с переменной нагрузкой. Рамановские спектры получены на спектрометре Jobin Yvon T64000 с длиной волны возбуждения – 514,5 нм, с целью изучения структурных особенностей пленок. FTIR спектры получены на ИК Фурье спектрометре ФТ-801 в диапазоне 2,5 – 16,7 мкм для изучения просветляющих свойств покрытий.

Результаты и обсуждение. С целью улучшения адгезии и сохранения качества покрытия мы применили режим В. На первом этапе мы осуществили мягкую имплантацию ионов рабочего газа (C_3H_8). Средняя энергия пучка была 3 кэВ. Предположительно, ионы проникают в поверхностный слой на глубину нескольких нанометров [3]. Часть имплантированных ионов может образовывать химическое соединение карбида германия. На втором этапе в режиме В мы понижали энергию ионов с 3 кэВ до 0,6 эВ для эффективного синтеза пленки. Данной энергии ионов достаточно для осуществления С-С связи осаждаемого материала с адгезионным слоем. В результате пленки с

адгезионным слоем не отрывалась при многократном скрайбировании алмазным индентором с максимальной нагрузкой 50 мН. Описанный способ синтеза дал хорошие значения твердости: от 15 до 20 ГПа.

Отметим, что напыление при энергии ионного пучка 3кэВ (режим С) обеспечивает хорошую адгезию и высокую скорость синтеза – 1,1 – 1,3 А/сек. Однако, твердость покрытия в этом случае не превышает твердости германия 10 ГПа. При осаждении ионов на германий с энергией 500-600 эВ без адгезионного слоя (режим А) твердость покрытия составляет от 13,5 до 16 ГПа. Адгезия таких пленок хуже: происходит отрыв при нагрузке 10мН. Скорость роста покрытия – 0,3 А/сек.

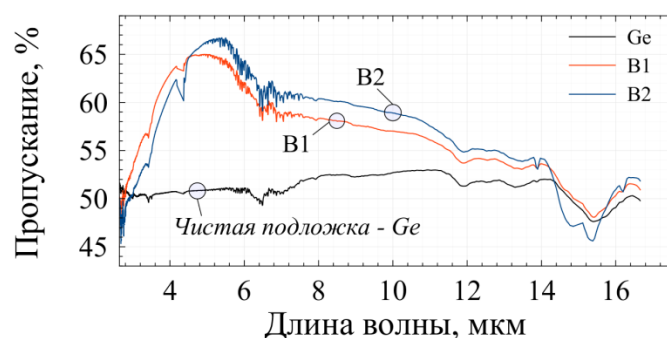


Рис. 1. Спектры пропускания а-С:Н пленок, синтезированных при режиме В на германии. В1 – твердость 15 ГПа, толщина 450 нм. В2 - твердость 20 ГПа, толщина 600 нм

На рис. 1. Представлены FTIR спектры а-С:Н пленок на германии с эффектом просветления, вызванным интерференцией света в пленке. Максимум просветления 65 – 67 % наблюдается в диапазоне длин волн 4,5 – 6 мкм. Для сравнения на рис. 1 представлен спектр пропускания чистого германия. В спектрах отсутствуют характеристические полосы поглощения С=С, С–Н₂, С–Н связей. Это можно объяснить выраженным просветляющим эффектом и недостаточной толщиной покрытия.

Выводы. Установлено, что формирование адгезионного подслоя ионным пучком из C₃H₈ с относительно высокой энергией – 3 кэВ способствует увеличению адгезионной прочности напыляемого покрытия. Наилучшая твердость покрытия – 20 ГПа, достигнута при двухэтапном напылении: адгезионный слой синтезирован ионным пучком с энергией 3 кэВ с последующим напылением ионов с энергией 0,6 кэВ. Пропускание германия с односторонним защитным просветляющим покрытием а-С:Н достигает 65-67 % в диапазоне длин волн 4,5 – 6 мкм.

Авторы выражают благодарность В.А. Володину, С. Ю. Чепкасову, М. Н. Хомякову за помощь в работе на диагностическом оборудовании. Работа выполнена при поддержке Проекта НГУ: Стратегические академические единицы (САЕ) «Нелинейная фотоника и квантовые технологии 2016 – 2017».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peng S., Ming H., Feng Z., Yi-Qin J., Hua-Song L., Dan-Dan L., Jian L. Effects of the ion-beam voltage on the properties of the diamond-like carbon thin film prepared by ion-beam sputtering deposition // Chin. Phys. B – 2015 – Vol. 24 – No. 6 – P. 067803-1 – 067803-5
2. Banerjee A., Das D. Fabrication of highly transparent diamond-like carbon anti-reflecting coating for Si solar cell application // AIP Conf. Proc. – 2014 - Vol. 1591 – P. 856 – 857
3. Gibbons J.F., Johnson W.S., Hylroic S.W. Projected range statistics. 2nd ed. Dowden, Stroudsburg, PA (1975). Pt 1. P. 93.