

УДК 621.89: 621.793

## ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

*Леонович Н.В., аспирант, Занько А.И., аспирант, Логунов К.Т., студент*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Котов Д.А. – канд. техн. наук*

**Аннотация.** Разработана технология химического осаждения алмазоподобного углеродного покрытия в плазме высокой плотности. Описан реактор для плазмохимического осаждения. Получены покрытия алмазоподобного углерода. Представлены результаты исследования технологического процесса осаждения алмазоподобных углеродных покрытий.

**Ключевые слова.** Алмазоподобное углеродное покрытие, плазма высокой плотности, индукционный разряд, индуктивно-связанная плазма.

Алмазоподобное углеродное (АПУ) покрытие является одним из востребованных оптических покрытий, благодаря его уникальным свойствам, таким как высокое пропускание в ИК спектре и рассеивание ИК-излучения, высокая теплопроводность и электрическое сопротивление, сопротивление к стиранию и высокая стойкость к кислотам, щелочам, солям,

что важно для приборов ночного видения, мобильных транспортных средств передвижения. Применение алмазоподобных углеродных покрытий в оптике обусловлено наличием в покрытии  $sp^3$ - и  $sp^2$ -гибридизированных связей. У покрытий с высоким содержанием  $sp^3$  (алмазных) связей усиливается процент пропускания света, а в случае высокого содержания  $sp^2$  (графитовых) связей усиливается процент поглощения [1], [2].

Основные преимущества HDPCVD (high-density plasma chemical vacuum deposition – химическое осаждение и парогазовой фазы) с применением индуктивно связанной плазмы, по сравнению с физическо-химическими методами осаждения: хорошая адгезия пленок к низележащим слоям; широкий спектр химических реакций и источников для реакций с благоприятными термодинамикой и кинетикой. Индуктивно связанная плазма высокой плотности обеспечивает создание неравновесных условий, что обеспечивает получение различных метастабильных состояний вещества с уникальными механическими и физическими свойствами, а именно управление формированием соотношения  $sp^3 / sp^2$  фазы углерода и достижением содержания  $sp^3$  фазы более 60%.

Для создания нужных условий формирования высокоплотной плазмы и равномерного осаждения пленок, необходимо обеспечить правильное газораспределение. Поэтому нами был разработан цилиндрический реактор плазмохимического осаждения алмазоподобных углеродных покрытий с внутренним диаметром 280 мм, габаритные размеры реактора выбирались таким образом, чтобы проводить осаждение покрытий на подложках диаметром до 200 мм. Реактор оснащен соосно расположенным плоским генератором плазмы высокой плотности индукционного типа, работающего на частоте 13,56 МГц, блоком питания, блоком согласования, кольцевым газораспределителем лабиринтного типа, охлаждаемым подложкодержателем с возможностью смещения потенциала плазмы и двумя соленоидами. Схема реактора представлена на рисунке 1.

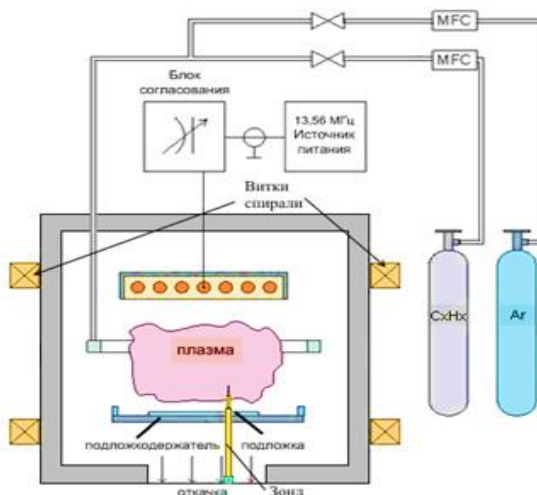
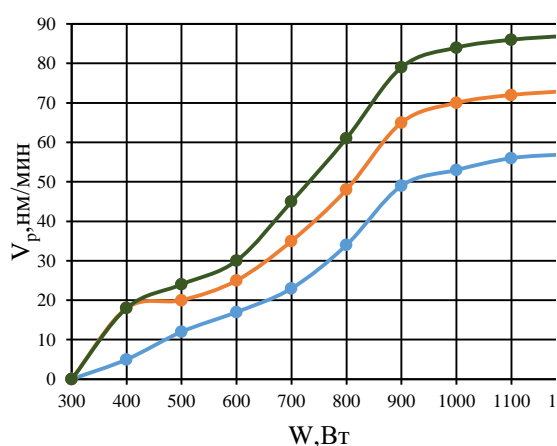


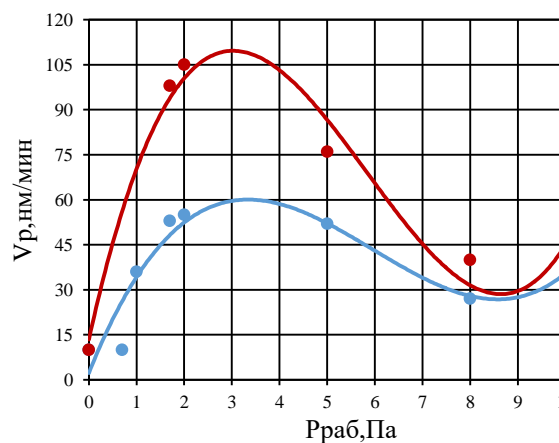
Рисунок 1 – Схема установки осаждения алмазоподобного углеродного покрытия в плазме высокой плотности

На корпус реактора установлено два соленоида, которые обеспечивают генерацию магнитного поля в камере в диапазоне от 0,3 до 10 мТл. Газораспределитель разработан с возможностью перемещения от источника плазмы на расстоянии до 150 мм, для отработки различных технологических процессов. Поток смеси рабочего газа, аргона и ацетилена, задается через регуляторы расхода газа – РРГ-12.

Мощность плазменного разряда определяет эффективность генерации активных частиц, а это в свою очередь способствует увеличению скорости плазмохимических процессов. Установлено, что при увеличении ВЧ-мощности индукционного разряда от 300 до 900 Вт скорость осаждения АПУ покрытий увеличивается, при различном рабочем расходе ацетилена, показано на рисунке 2 (а). Это свидетельствует об повышении интенсивности ионизации плазмообразующих газов и эффективности распада ацетилена. С увеличением мощности разряда свыше 900 Вт достигается режим насыщения, это показывает что практически весь поступающий газ прекурсор распадается на активные химические радикалы и, в связи с этим, скорость осаждения с увеличением ВЧ-мощности индукционного разряда практически не увеличивается.



(а)



(б)

Рисунок 2 – Зависимость скорости роста алмазоподобных углеродных покрытий на кремниевой подложке в высокоплотной плазме индукционного разряда от величины подводимой ВЧ-мощности при остаточном давлении в реакторе 2.5 Па и при различном расходе ацетилена 1 – 50 см<sup>3</sup>/мин, 2 - 80 см<sup>3</sup>/мин, 3 - 120 см<sup>3</sup>/мин (а), и от рабочего давления газовой смеси при разном соотношении объемов ацетилена к аргону 1 – 6/1, 2 – 3/1 (б)

При формировании алмазоподобных углеродных покрытий варьирование рабочего давления газовой смеси в реакционной камере проводилось от 0,08 до 10 Па. При этом соотношение объемов аргона к объему ацетилена составляло 6 и 3, при мощности ВЧ-разряда 900 Вт и температуре подложкодержателя 373 К. При увеличении рабочего давления смеси C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> + Ar в условиях постоянного соотношения объема аргона к объему ацетилена как 6/1, так 3/1 наблюдается сначала увеличение скорости осаждения АПУ покрытий, а затем уменьшение. Первоначальное повышение скорости роста связано с увеличением плотности активных радикалов у поверхности подложки и, как следствие, с увеличением скорости поставки их к ее поверхности. Высокая скорость роста при рабочем давлении 1,5-6,0 Па в реакционной камере свидетельствует в пользу того, что происходит стабильная поставка химически активных радикалов на поверхность кремниевой подложки. Так же вероятность трансформации химически активных ионизированных радикалов ацетилена до углерода на поверхности подложки в этом случае увеличивается. Повышение же общего давления газовой смеси в реакционной камере выше 6,0 Па в результате увеличения скорости потока химически активных частиц к поверхности подложки увеличивает вероятность их отражения от нее. Это усиливает их рассеяние и, в результате, приводит к снижению скорости роста алмазоподобных углеродных покрытий.

С увеличением скорости роста алмазоподобных углеродных покрытий процент содержания sp<sup>3</sup> (алмазной) связей падает и растет процент содержания графит подобной фазы, что приводит к низкой твердости и легкому истиранию покрытий. В результате выполнения экспериментального осаждения алмазоподобные углеродные покрытия были получены с наилучшими оптическими и физическими характеристиками при низком расходе ацетилена и не высокой мощности, а именно при следующих технологических параметрах процесса: ВЧ-мощность 600 Вт, расход газа прекурсора 20 см<sup>3</sup>/мин при остаточном давлении в рабочей камере 2.5 Па

#### Список использованных источников:

1 *Diamon-like carbon coating made by RF plasma enhanced chemical vapour deposition for protective antireflective coatings on germanium / Ashish Varade, Ankit Krishna, K. Niranjan Reddy, M. Chellamalai, P.V. Shashikumar // Procedia Materials Science 5 (2014) 1015– 1019.*

2. *Mironov Y., Stepanov R., Osipkov A., Belyaeva A., Makeev M.. Strengthening diamond like carbon coatings for optic materials // Russian – Israeli Bi-National Workshop – 2014. – Vol. 2. – P. 52 – 59.*