

УДК 537.311.322

М.Ж. Буранбаев, Ж.А. Ентибеков, О.Е. Кайполдаев, А.М. Дербисалин\*  
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы  
\*E-mail: derbissalin@dexter.kz

### Углеродные пленки, полученные методом ионно-плазменного напыления

**Аннотация.** Методом ионно-плазменного напыления получены углеродные пленки. Рассмотрен фазовый состав, внутреннее строение, морфология поверхности, измерена толщина слоя полученных пленок.

**Ключевые слова:** углеродные пленки, ионно-плазменное напыление, кремниевая подложка, фазовый состав.

Углеродные пленки хорошо известны своей способностью образовывать различные электронные конфигурации, такие, как  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ . Наиболее распространенной структурной модификацией является алмаз с  $sp^3$ -гибридизацией и графит, обладающий  $sp^2$ -гибридизацией связей [1]. В связи с этим задача получения углеродных пленок с различными электронными конфигурациями искусственным путем привлекает многих ученых. Главная особенность в том, что, если изменять соотношения концентрации структурных единиц  $sp^2$  и  $sp^3$ , то можно получать пленки с новыми электронными свойствами.

Тонкие углеродные пленки обладают уникальными физико-химическими свойствами, такими, как инертность, износостойкость, прозрачность в видимом диапазоне длин волн, твердость, теплопроводность. Кроме того, изменяя условия их получения, можно управлять шириной запрещенной зоны, концентрацией примесных атомов и проводимостью слоя, что позволяет использовать алмазные покрытия при изготовлении мощных полупроводниковых приборов.

В настоящее время наиболее интенсивно развиваются направления исследования алмазоподобных покрытий, связанные с изготовлением полупроводниковых приборов и повышением стабильности полевого тока «холодных» электронных источников [2]. Получение углеродных покрытий для этих целей осуществляется, в основном, методом химического парофазного осаждения либо в тлеющем разряде [3], либо с

помощью горячей нити [4] в атмосфере водорода и углеводородного газа (чаще всего метана).

#### Методика эксперимента

Выращивание тонких углеродных пленок реализуется на основе физического разложения углеродосодержащего газа (ацетилен) и осаждением на монокристаллическую кремниевую подложку с ориентацией плоскости (111). Газ ацетилен получается при химической реакции карбида с дистиллированной водой. Полученный газ проходит фильтрацию на химической жидкости, после чего проходит на емкость. Регулировка подачи газа контролируется через пьезоэлемент. Схема реакционной камеры показана на рис. 1.

Электроды изготовлены из чистейшего реакторного графита. Подложка из монокристаллического кремния предварительно обезжиривается путем последовательной промывки в спирте, плавиковой кислоте и ацетоне, после чего помещается в реакционную камеру. Реакционная камера присоединяется к пьезоэлектрическому вентилю, обеспечивающему напуск газов, и помещается в вакуумную систему. Остаточный вакуум в камере получается при помощи форвакуумного и диффузионного насосов и составляет  $\sim 1,3 \cdot 10^{-4}$  Па. Поверхность монокристаллической кремниевой подложки, ориентированная по направлению (111), полируется в камере бомбардировкой ионами  $Ag^+$ , для этого в камеру предварительно напускают аргон. При полировке поверхности подложки подается поток ионов аргона при напряжении  $\sim 4$  кВ.

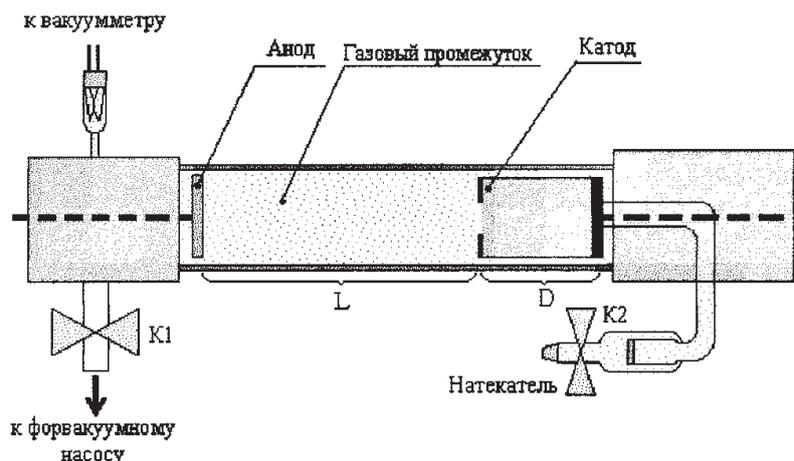


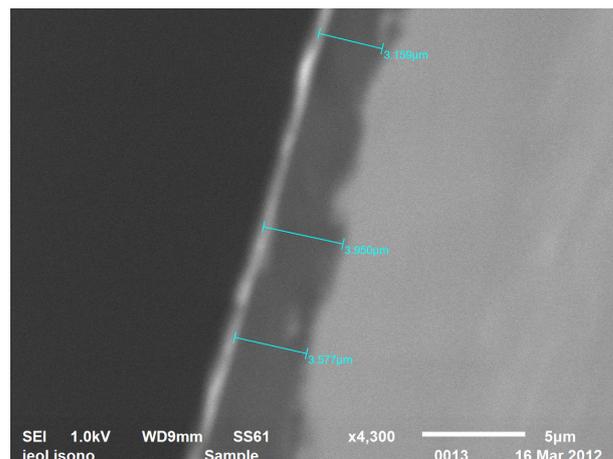
Рисунок 1 – Схема реакционной камеры

Чтобы вырастить тонкие пленки углерода в камеру напускают смесь ацетилена и аргона. Для получения пленок с различной структурной модификацией варьируется напряжение, подаваемое на катод от 2,5 – 4 кВ, и поток газа, который задает давление внутри камеры. Под напряжением газ ионизируется, зажигается плазма внутри рабочего объема. Молекулы ацетилена ( $C_2H_2$ ), которые имеют ковалентную связь, разделяются на отдельные ионы углерода и водорода. Положительно заряженные ионы углерода движутся к катоду, где расположена кремниевая подложка, и там они осаждаются, создавая центры кристаллизации. По истечению времени центры кристаллизации постепенно растут, создавая зернистую поверхность. Толщина полученных пленок может вырасти в размере от нанометровых до микронных.

### Результаты и выводы

В результате эксперимента были получены пленки углерода, толщина которых составляла около 3 мкм (рис. 2). На начальной стадии напыления на кремниевой подложке появляются центры кристаллизации, в результате роста которых образовывается пленка. В зависимости от подаваемого напряжения на поверхности формируются различные структуры углерода, это может быть алмазоподобная пленка, графит, аморфный углерод, и т.д. Толщина углеродной пленки измерялась на электронном микроскопе, на срез. Образец разламывался пополам и устанавливался перпендикулярно электронному пучку.

Поверхность полученных пленок преимущественно ровная, отличается зернистой структурой, размер зерен колеблется от 30 нм до 80 нм, преимущественно преобладают зерна с диаметром 50 нм, реже встречаются более крупные зерна диаметром 200 нм (рис. 3) [2].



Толщина пленки измерялась электронным микроскопом

Рисунок 2 – Пленки углерода, полученные в ходе эксперимента

На рис. 4 показан спектр комбинационного рассеяния света углеродной пленки. Для этой пленки характерным является широкая линия в области 1580  $cm^{-1}$ , обусловленная углеродом в аморфной форме. Так как КРС дает полную информацию о поверхности пленки, спектральные линии углерода в аморфной фазе и спектральные алмазоподобной структуры перекрываются. Аморфный углерод является связующим компонентом между плоскими зернами алмазной

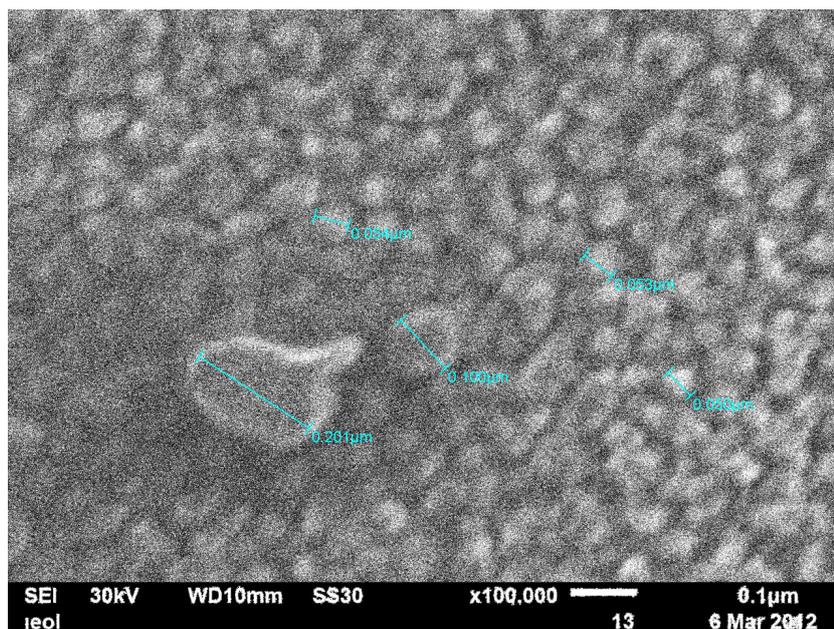


Рисунок 3 – Снимок поверхности углеродной пленки, сделанный на электронном микроскопе

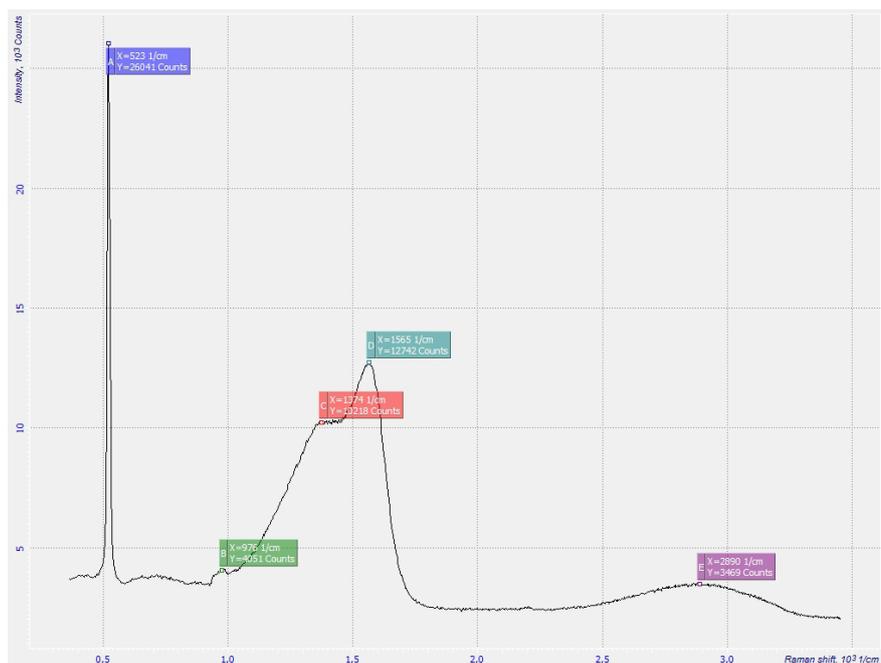


Рисунок 4 – Спектр аморфной углеродной пленки, полученный методом Рамановского рассеяния

структуры. Такие же результаты наблюдались в работах А.П. Семенова, А.Ф. Беянина и др. [2].

Спектры КРС углеродных пленок, полученных при иных условиях напыления, заметно изменялись, что, в свою очередь, свидетельствует об изменении фазового состава.

### Заключение

Предложен способ выращивания пленок углерода различных структурных модификаций на вакуумной установке ВУП-5. Получены простым и дешевым методом углеродные пленки с высокой зеркальностью, устойчивостью к истиранию, механической прочностью и

стабильностью свойств, пленки толщиной 3-3,8 мкм на кремниевых подложках. Рассмотрен фазовый состав, внутреннее строение, морфология поверхности полученных пленок.

### Литература

1 Сарсембинов Ш.Ш., Приходько О.Ю., Максимова С.Я. Физические основы модификации электронных свойств некристаллических полупроводников. – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – С. 253-298.

2 Семенов А.П., Белянин А.Ф., Семенова

И.А., Пашенко П.В., Баранков Ю.А. Тонкие пленки углерода. Строение и свойства // Журнал технической науки – 2004. – Т.74, вып. 5. – С. 101-104.

3 Raiko V., Spitzl R., Engemann J., Borisenko V., Bondarenko V. MPCVD diamond deposition on porous silicon pretreated with the bias method // Diamond and Related Materials. – 1996. – Vol. 5. – P. 1063-1069.

4 Wei J., Tzeng Y. Growth of diamond by sequential deposition and etching process using hot filament CVD // J. Cryst. Growth. – 1993. – Vol. 128. – P. 413-417.

### М.Ж. Боранбаев, Ж.А. Ентибеков, О.Е. Қайполдаев, Ә.М. Дербісәлі Иондық-плазмалы шаңдану әдісімен алынған көміртегі қабықшалары

Иондық-плазмалы шаңдану әдіспен көміртегі қабықшалары алынды. Алынған қабықшалардың фазалық құрамы, беттің морфологиясы, ішкі құрылысы зерттелді және олардың қалыңдығы өлшенді.

**Түйін сөздер:** көміртегі қабыршақтар, иондық - плазмалы шаңдану, кремнийлік төсеніші, фазалық құрам.

### M.Zh. Buranbaev, Zh.A. Entibekov, O.E. Kaipoldayev, A.M. Derbissalin Carbon film obtained by ion-plasma sputtering

By ion-plasma sputtering, carbon films were obtained. We consider the phase composition, internal structure, surface morphology, measured the thickness of the films.

**Keywords:** amorphous semiconductor films, ion-plasma carbon films sputter, silicon substrate, phase composition.