

УДК 538.9

DOI: 10.17223/00213411/62/7/97

*А.С. ГРЕНАДЁРОВ<sup>1</sup>, К.В. ОСКОМОВ<sup>1</sup>, А.А. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>, Н.М. ИВАНОВА<sup>2</sup>, В.С. СЫПЧЕНКО<sup>2</sup>***ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АМОΡФНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЛЕНОК, ЛЕГИРОВАННЫХ КРЕМНИЕМ, КИСЛОРОДОМ И АЗОТОМ \***

Получены и исследованы аморфные углеводородные (а-С:Н) пленки, легированные Si, O и N. Пленки наносились на образцы кристаллического кремния методом плазмохимического осаждения в смеси паров полифенилметилсилоксана, аргона и азота. Исследовано влияние содержания азота в пленках на их физико-механические свойства. Состав пленок изучали методами рентгеновской флуоресцентной спектроскопии и инфракрасной спектроскопии с фурье-преобразованием. Структура пленок изучалась с использованием рамановской спектроскопии. Твердость и другие механические свойства пленок были определены с помощью наноиндентирования. Показано, что химический состав и свойства а-С:Н:SiO<sub>x</sub>:N-пленок можно контролировать путем изменения парциального давления азота в процессе осаждения. Увеличение содержания азота в а-С:Н:SiO<sub>x</sub>:N-пленке приводит к росту ее среднеквадратической шероховатости и угла смачивания с водой. Также это сопровождается уменьшением содержания углерода в пленке и уменьшением ее твердости, обусловленным уменьшением содержания *sp*<sup>3</sup>-фазы углерода.

**Ключевые слова:** плазмохимический синтез, легированный аморфный углерод, фурье-ИК-спектроскопия, рамановская спектроскопия.

**Введение**

В последнее время особое внимание уделяется вопросу модификации поверхности материалов, обеспечивающей изменение физико-механических свойств поверхности. Одним из способов модификации поверхности является нанесение на материал тонких плёнок и покрытий различными методами. Для этого особый интерес представляют вакуумные технологии, позволяющие получить пленки и покрытия с минимальным содержанием нежелательных примесей. Пленки на основе углерода (а-С, а-С:Н), формируемые с использованием физических и плазмохимических методов газофазного осаждения, обладают уникальным набором физико-механических, оптических и трибологических свойств. Однако серьезным недостатком а-С- и а-С:Н-пленок являются высокие внутренние напряжения, приводящие к отслаиванию пленок, а также низкая термическая стабильность при температурах выше 300 °С. Для устранения этих недостатков углеродные пленки легируют различными металлами [1, 2] или неметаллическими компонентами, такими, как Si, O, N и F. Легирование углеродных плёнок приводит к еще большему разнообразию их свойств, что, в свою очередь, расширяет область их применения.

Наиболее перспективным является легирование пленок в процессе синтеза путем введения легирующего компонента в состав плазмы [3]. В качестве прекурсоров для получения легированных углеродных пленок, содержащих Si, O, N, H, используют различные силоксаны, силаны, силаны. С данными соединениями легко обращаться, поскольку они являются нетоксичными жидкостями при комнатной температуре и могут переноситься в камеру осаждения с использованием различных углеводородных и нейтральных газов, что приводит к образованию а-С:Н-пленок, модифицированных Si/O/N.

Введение кремния с образованием а-С:Н:Si-пленок позволяет улучшить оптические свойства а-С:Н-пленок, повысить их термостабильность и снизить коэффициент трения [4–6]. Легирование а-С:Н-плёнок кремнием и кислородом (а-С:Н:SiO<sub>x</sub>) приводит к снижению внутренних напряжений и позволяет повысить термическую стабильность до 500 °С [7, 8]. По механическим и трибологическим свойствам, а-С:Н:SiO<sub>x</sub>-пленки во многом не уступают алмазоподобным углеродным пленкам, их твердость составляет 10–20 ГПа, скорость износа не превышает 10<sup>–5</sup> мм<sup>3</sup>/(Н·м), а коэффициент трения находится в диапазоне от 0.02 до 0.2.

В качестве легирующего элемента для углеродсодержащих плёнок можно использовать азот, способный образовывать C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-фазу, которая по прогнозам должна обладать высокой твердостью [9]. Включение азота в структуру углеродной пленки, содержащей кремний, приводит к образова-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-19-00186.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>