

УДК 535.5

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ «АЛМАЗ»

В. В. Гладковский, Б. П. Полозов, к. ф.-м. н. О. А. Федорович

Институт ядерных исследований НАН Украины
Украина, г. Киев
v.glad2010@yandex.ua

Представлены результаты исследования влияния параметров процесса плазмохимического синтеза на формирование углеродных алмазоподобных пленок. Показано, что структура и скорость роста синтезированных пленок весьма чувствительны к энергии бомбардирующих заряженных частиц и температуре подложки.

Ключевые слова: алмаз, алмазоподобные пленки, напряжение смещения.

В настоящее время в микроэлектронике используется целый ряд полупроводниковых материалов и их соединений, которые по своим свойствам являются малопригодными для работы в сложных условиях эксплуатации: в местах с высокой радиоактивностью, в условиях высоких температур, в сильных магнитных полях, при облучении высокоэнергетическим ионизирующим излучением, а также в условиях циклических, ударных и вибрационных нагрузок.

Среди всех известных материалов, которые могут быть использованы в указанных условиях, особое место принадлежит алмазу. Это широкозонный полупроводник с уникальной прочностью, высокой теплопроводностью, устойчивостью по отношению к агрессивным средам даже при высоких температурах, с малой удельной теплопроводностью и т. п. [1]. Алмаз — оптически прозрачный диэлектрик для света от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного диапазонов излучения и имеет низкие коэффициенты теплового расширения ($1,5\text{—}4,8 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$) и трения (0,1) [2].

Однако использование алмазных пленок при разработке микроэлектронных устройств вызывает определенные трудности. Как известно, природные кристаллы алмазов отличаются индивидуальными свойствами. Такое индивидуальное различие связано с разным процентным соотношением элементов-примесей: N, H, O, Ni, Si и других [3]. Важным фактором также является высокая стоимость природных алмазов. Это вызывает необходимость разработки различных технологий для получения синтетических алмазов.

На сегодняшний день разработан ряд технологий по получению наноразмерных алмазных и алмазоподобных пленок (АПП) с помощью газоразрядной плазмы. Для образования плазмы используют самые разнообразные методы. Это в свою очередь дает возможность получать АПП на подложках из различных материалов и различной толщины.

Физико-химические процессы, происходящие при синтезе АПП, довольно сложные. Однако общим для всех процессов является разложение молекул простых углеводородов и осаждение углерода на нагретую до определенной температуры подложку. Каждый из методов отличается скоростью роста, температурами плазмы и подложки, концентрацией и энергией ионов, радикалов, атомов и молекул и т. д. Поэтому использование каждого из методов обуславливается требованиями к необходимому комплексу физико-химических свойств получаемых структур.

Цель работы заключается в исследовании влияния параметров процесса плазмохимического синтеза на рост алмазоподобных и алмазных пленок и поиска оптимальных режимов их осаждения в плазмохимическом реакторе «Алмаз». Синтез проводился в реакторе на базе емкостного ВЧ-разряда в скрещенном управляемом магнитном поле [4], который возбуждался в смесях $\text{H}_2 + \text{CH}_4$ или $\text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{Ar}$ в различном процентном соотношении. В качестве подложек использовались пластины из Si, Al_2O_3 , Ni, Mo, W, SiO_2 и других материалов. Температура подложки регулировалась в диапазоне от 350 до 900°C. Для управления напряжением смещения и, соответственно, энергией заряженных

частиц, кроме изменения других параметров разряда и плазмы, использовали дополнительный источник питания, подключенный к активному и заземленному электродам через специальные фильтры.

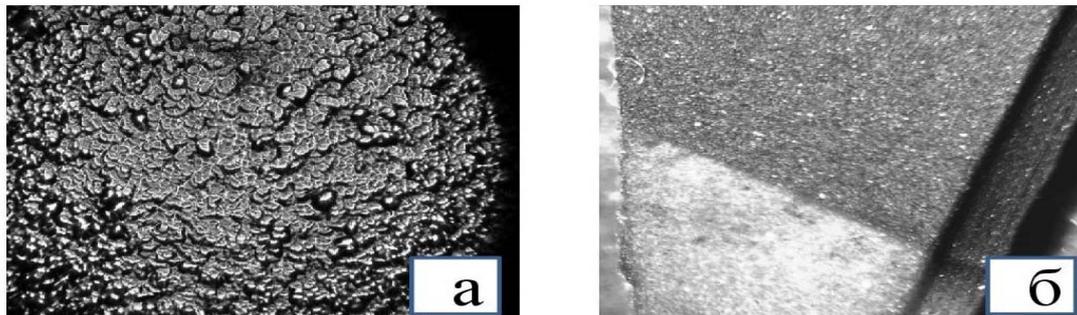


Рис.1. Изображение поверхности подложек при различных параметрах процесса синтеза АПП: а) $T=630^{\circ}\text{C}$, $U_{\text{см}}=-220\text{ В}$, $I=4\text{ А}$; б) $T=900^{\circ}\text{C}$, $U_{\text{см}}=-180\text{ В}$, $I=4\text{ А}$

Исследования полученных структур показали, что при значениях температуры подложки в диапазоне $350 - 750^{\circ}\text{C}$ (рис. 1, а) преимущественно происходит формирование алмазного материала. Полученные пленки исследовались с помощью рентгеновского анализа, электронной и атомно-силовой микроскопии, а также рентгено-флуоресцентного анализа. С ростом температуры подложки до 900°C (рис. 1, б) доля аморфного углерода увеличивается. Известно, что как высокая, так и низкая температура подложки приводит к образованию других аллотропных форм углерода. Алмазоподобные пленки образовывались также в узких диапазонах напряжения смещения $-60...-220\text{ В}$ и $+40...+80\text{ В}$. При этом наблюдалась конкуренция процессов образования алмазоподобной пленки и аморфного углерода, преобладающий процесс определялся все же температурой подложки. Увеличение энергии бомбардирующих частиц приводит к локальным перегревам поверхности пленки, что смещает термодинамическое равновесие образования алмазоподобной пленки к более стабильной структуре — аморфному углероду. Таким образом, анализ экспериментальных данных показал, что на формирование алмазной пленки влияет не только температура подложки, но и параметры разряда, а именно напряжение смещения, что очень важно для управления процессом роста и оптимизации качества получаемых алмазных и алмазоподобных пленок.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Буберман Г.С. Зонная структура алмазов // Успехи физических наук.— 1971.— Т. 103, вып. 4.— С. 675.
2. Сергейчев К. Ф., Душик В. В., Иванов В. А и др. Газофазный плазмохимический синтез поликристаллического алмазного покрытия рабочей поверхности твердосплавных режущих инструментов в плазме факельного СВЧ-разряда (обзор) // Успехи прикладной физики.— 2014.— Т. 2, № 5.— С. 453—475.
3. Солодова Ю.П., Николаев М.В., Курбатов К.К. и др. Геммология алмаза. — Москва: Издат. МГРИ, 2008.
4. Гладковский В.В., Костин Е.Г., Полозов Б.П., Федорович О.А., Петряков В.А. Влияние параметров ВЧ-разряда и параметров нагревателя на температуру подложки в плазмохимическом реакторе «Алмаз» для синтеза углеродных алмазоподобных пленок // ТКЭА.— 2014.— № 5-6.— С 39—45.

V.V. Hladkovskiy, B.P. Polozov, O.A. Fedorovich

Obtaining diamond-like carbon films in the plasma-chemical reactor "ALMAZ"

The article presents the research results of the effect the process parameters of the plasma-chemical synthesis has on the formation of diamond-like carbon films. It is shown that the structure and growth rate of synthesized films is rather sensitive to the energy of the bombarding charged particles and the substrate temperature.

Keywords: *diamond, diamond-like film, bias voltage.*