

ПОЛУЧЕНИЕ, НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Яфаров Р.К.*

Саратовский филиал Института Радиотехники и Электроники РАН. Саратов, 410019, ул. Зеленая д. 38

* Факс: (8452) 272 401 E-mail: pirpc@renet.ru

Введение

В связи с интенсивным развитием нанотехнологий в мире возрос интерес к нанопленкам или ультрадисперсным алмазам [1]. Современные технологии их получения, как правило, весьма трудоемки, связаны с использованием статических сверхбольших давлений и температур или энергии взрыва [2]. Однако, взрывные технологии имеют ряд существенных недостатков, главный из которых – обеспечение соответствующей дорогостоящей инфраструктуры и необходимость использования взрывчатых веществ и определенных гигиенических условий. По этим причинам разработка «невзрывных» технологий синтеза наноалмазных материалов имеет важное прикладное и фундаментальное значение.

Целью работы является поиск и исследование условий и механизмов синтеза наноалмазных материалов при низких давлениях и температурах.

Результаты и обсуждение

Осаждение углеродных пленок осуществлялось в плазме паров этанола в СВЧ газовом разряде на стеклянную подложку в установке, описанной в работе [3]. Детальное изучение микротопографии поверхности пленок осуществлялось с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа (АСМ), их структуры – на установке рентгенофазового анализа ДРОН-3,0. Исследованы зависимости скорости осаждения, фазовый состав, различные электрофизические свойства углеродных пленок от температуры подложки при различных давлениях паров рабочего вещества в СВЧ плазме.

Углеродные пленки, полученные при низких температурах подложек (от комнатной до 150 – 200 °С) для давлений паров этанола в интервале от 0,01 до 5 Па, представляли собой пористый материал, состоящий из скопления полимероподобных, слабо связанных между собой агрегатов, были «мягкими» и имели желтый оттенок. В рентгенограммах этих пленок хорошо выраженных пиков, характерных для какой-либо кристаллической фазы углерода выявлено не было.

С увеличением температуры подложки скорости осаждения мягких пленок уменьшались, а сами пленки постепенно становились твердыми и, в зависимости от давления паров этанола, прозрачными алмазоподобными или темными – графитовыми.

Изучение с помощью атомно-силовой микроскопии микротопографии мягких полимероподобных пленок показало, что их поверхность на микроскопическом уровне не является однородной (рис. 1а). Эти пленки представляют собой гетерофазную систему, где в аморфной углеводородной матрице рассеяны кристаллические микровыступы в форме пирамид с диаметрами оснований от 0,25 до 0,5 мкм и высотой от 4-5 до 100 нм (рис. 1б)

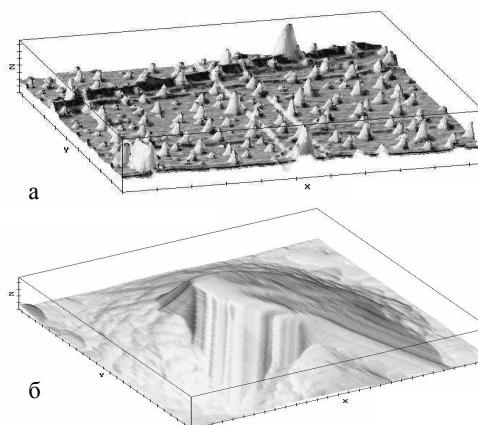


Рис. 1. АСМ - изображение поверхности композитной углеводородноалмазной пленки (а) (Масштаб: X:1 мкм, Y:1 мкм, Z:0,1 мкм.) и кристаллического нанокристаллита в углеводородной матрице (б). (Масштаб: X:0,1 мкм, Y:0,1 мкм, Z:0,01 мкм.).

На рис. 2 приведены зависимости концентрации кристаллитов размером более 50 нм на поверхности полимероподобной углеводородной пленки от температуры подложки для различных давлений паров этанола в СВЧ плазме. Концентрации кристаллитов практически линейно уменьшались с увеличением температуры от $1,0 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ до $1,0 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. Скорости уменьшения концентраций и температура, названная нами критической, при которой еще фиксировались отдельные кристаллиты,

зависели от давления паров рабочего вещества. Критическая температура соответствовала температурам, при которых заканчивался переход от осаждения кристаллитов в полимероподобных мягких пленках к сплошным твердым пленкам.

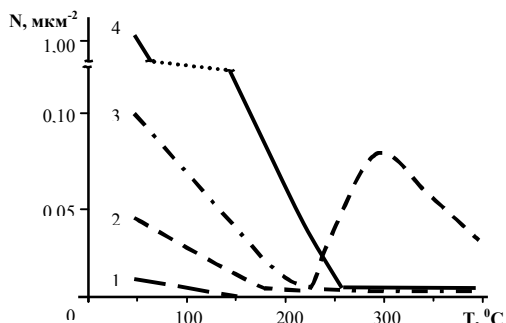


Рис. 2. Зависимости концентрации кристаллитов размером более 50 нм на поверхности углеродной пленки от температуры подложки для различных давлений паров этанола в СВЧ плазме: 1 - 0.05 Па; 2- 0.1 Па; 3- 5 Па; 4- 1 Па.

Изучение размеров и распределения кристаллитов в объеме углеводородной матрицы осуществлялось методом их экстракции за счет удаления углеводородной компоненты в СВЧ плазме осушенного воздуха. Контролировались толщина удаленного углеводородного слоя, а также, с помощью анализа данных со сканирующего атомно-силового микроскопа, изменения размеров и поверхностной концентрации кристаллитов в оставшейся матрице.

Большое различие в размерах экстрагированных кристаллитов и толщины удаленного слоя матрицы свидетельствует о том, что микрокристаллиты при их формировании в процессе осаждения углеводородной матрицы хаотично возникают, растут до определенных размеров, а затем замуровываются в ней, а не пронизывают ее через всю толщину [4]. Более того, из этих экспериментов просматривается сильное влияние подложки: чем ближе слой углеводородной матрицы к твердой подложке, тем меньше размеры образующихся в нем кристаллитов. С увеличением толщины углеводородного слоя размер кристаллитов увеличивается. Однако при большой толщине матрицы их размер вновь уменьшается, о чем свидетельствует меньший размер кристаллитов в углеводородной пленке толщиной 1,2 мкм, по сравнению с такой же пленкой толщиной 0,4 мкм. В толстых пленках концентрация и размер микрокристаллитов в зависимости от глубины стравленного слоя изменяется мало.

Выводы

Полученные алмазоуглеводородные материалы могут найти широкий спектр применений. В отличие от детонационных наноалмазов, преимуществом полученных материалов является погруженность наноалмазов в уникальную по своим функциональным свойствам углеводородную матрицу. Это исключает возможность их агрегатирования в прочные образования, которые в случае сухих порошкообразных наноалмазов нуждаются в дополнительной подготовке сухого продукта при изготовлении паст путем механического дробления.

По сравнению с существующими методами синтез наноалмазов в неравновесной СВЧ плазме имеет следующие преимущества и особенности:

- отсутствует необходимость в наличии специфической инфраструктуры, связанной с использованием энергии взрыва и взрывчатых веществ;
- обеспечивается возможность управления размерами и распределением концентрации наноалмазов в объемной матрице, позволяющая создавать структуры с заданными градиентными свойствами;
- данная технология синтеза наноалмазных пленочных материалов совместима с технологическими процессами микроэлектронного производства.

Благодаря погруженности наноалмазов в каркасную углеводородную матрицу имеются широкие возможности для непосредственного их нанесения на любые подложки и детали и использования наноматериала, например, в качестве уникальной по своим свойствам твердой антифрикционной смазки, а также для модификации и управления поверхностными свойствами наноалмазов при использовании в качестве накопителя газовой массы в топливных элементах. Наноалмазные кристаллиты в полимерной матрице представляют собой новый и весьма перспективный исходный материал для получения объемных аккумуляторов водорода.

Литература

1. Витязь П.А. ФТТ. 2004. Т.46. В. 4. С.591 – 595.
2. Даниленко В.В. Синтез и спекание алмазов взрывом. М.: Энергоатомиздат, 2003. 272с.
3. Былинкина Н.Н., Муштакова С.П., Олейник В.А. и др. Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. Вып. 6. С. 43-47.
4. Алехин А.А., Суздальцев С.Ю., Яфаров Р.К. Письма в ЖТФ. 2003. Т.29. Вып.15. С. 73-79.