

ЭПР-ДИАГНОСТИКА УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК, СТРУКТУРИРОВАННЫХ НА СТЕКЛЕ

И. И. Азарко¹, В. К. Гончаров², Г. А. Гусаков, И. А. Карпович¹,
В. Б. Оджаев¹, М. В. Пузырев², П. В. Толстых¹

¹Белорусский государственный университет

²БГУ НИУ Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко

Углеродные пленки (УП) на стекле получали методом лазерно-плазменного осаждения с использованием различных графитовых мишеней. Показано, что за счет варьирования плотностью мощности энергии лазерного импульса или степенью структурного совершенства источника атомов углерода можно целенаправленно управлять электрофизическими характеристиками углеродных пленок, структурированных на стекле.

В настоящее время темпы развития научно-технического прогресса постоянно требуют создания новых и перспективных материалов, а также улучшения свойств и характеристик уже имеющихся. Углеродные пленки, обладая радиационной стойкостью и химической инертностью, хорошо зарекомендовали себя при использовании в инструментальной промышленности и микроэлектронике, удачно сочетая преимущества как алмаза, так и графита.

Ранее осаждение углеродных покрытий проводилось для создания защитных и просветляющих покрытий в оптоэлектронике [1], а сегодня на первый план выходят проблемы формирования многофункциональных структур.

Среди многообразия методик создания УП импульсное лазерное осаждение отличается широким выбором начальных параметров осаждения, материала подложки и отсутствием ферромагнитных включений, характерных при синтезе с использованием металлов-катализаторов. Целью настоящей работы является изучение влияния структуры источника атомов углерода, а также плотности мощности излучения неодимового лазера на парамагнитные свойства формируемых пленок.

Процесс формирования углеродных пленок методом лазерно-плазменного осаждения подробно описан в работе [2]. Подложки изготавливались из кварцевого стекла в виде пластин размером 10×10 мм и подогревались до 500 К при осаждении УП. В качестве источника атомов углерода использовался как высокоориентированный пиролитический графит с трехмерно упорядоченной структурой кристаллитов, состоящих из отдельных блоков, так и мелкозернистый графит с характерным размером кристаллитов 5–15 мкм.

Для диагностики дефектной структуры как формируемых пленок, так и кварцевых подложек использовался метод ЭПР.

Установлена независимость от типа источника атомов углерода или используемой плотности мощности лазерного излучения наличия ненасыщающихся сигналов с $g = 2.0017$ вплоть до мощности СВЧ-излучения, равной 100 мВт, регистрируемых на спектрах ЭПР образцов, как при комнатной температуре измерений, так и при температуре жидкого азота. Значения ширины линии (ΔH) пленок, структурированных на кварцевых подложках, из графита с размером кристаллитов 5–15 мкм с ростом плотности мощности лазерного воздействия от $1 \cdot 10^8$ Вт/см² до $5 \cdot 10^8$ Вт/см² увеличиваются от 2 до 6.5 Гс. Для образцов, полученных из высокоориентированного пиро-

литического графита, наблюдается немонотонная зависимость ΔH в близком диапазоне значений. Учитывая значения толщины покрытий, определенные при помощи профилометра Talystep, были рассчитаны значения концентрации для всех исследованных образцов. Пленки, полученные из графита с размером кристаллитов до 15 мкм, при малой плотности мощности лазерного излучения отличаются минимальным количеством парамагнитных дефектов, величина которых увеличивается с ростом плотности мощности лазерного излучения и выходит на насыщение. Разброс значений концентрации парамагнитных центров (ПЦ) образцов, полученных при одинаковых условиях осаждения, может быть связан с размерами графитовых кристаллитов. Парамагнитные характеристики коррелируют со значениями удельного сопротивления, измеренными 4-зондовым методом и коэффициентом поглощения пленок, полученных с использованием пиролитического графита. Включения графитовой фазы в образцах повышают дефектность формируемой пленки, что в свою очередь вызывает уширение линии при резком уменьшении интенсивности данного сигнала ЭПР.

С учетом экспериментальных данных из работы [2] полученные пленки, осажденные из графитового источника с размером кристаллитов 5–15 мкм, могут быть охарактеризованы как аморфный углерод со средним размером кластеров sp^2 -связанного углерода до 1 нм и небольшим количеством (до 10 %) включений sp^3 -связанного углерода. При использовании в качестве источника пиролитического графита структурированные на стеклянной подложке пленки могут рассматриваться как алмазоподобные с преобладающим содержанием sp^3 -связанного углерода.

В результате проведенных исследований показано, что получаемые методом лазерно-плазменного осаждения на кварцевую подложку пленки имеют алмазоподобную структуру и их можно рассматривать как наноструктурированный композит, включающий промежуточный слой подложка-пленка и кластеры как sp^2 -, так и sp^3 -гибридизированных атомов углерода. Причем количество последних увеличивается при росте структурного упорядочения графитовой мишени. Парамагнитные центры в пленках, осажденных при испарении в вакууме графитовой мишени импульсным наносекундным лазерным излучением малой плотности, связаны в основном с sp^3 -гибридизированными атомами углерода, расположенными на межкуристаллических или межфазных границах. При увеличении плотности мощности энергии лазерного излучения увеличивается вероятность зарождения на подложке структурных объектов с различной размерностью кристаллитов, вследствие чего увеличивается роль приграничных более дефектных областей, а влияние графитового источника нивелируется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюй Н. И. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. № 10. С. 87–92.
2. Азарко И. И., Гончаров В. К., Гусаков Г. А. и др. // ЖПС. 2008. Т. 75. № 4. С. 539–542.