

Т.В. Мартынова<sup>1</sup>, Н.И. Полушин<sup>1</sup>,  
А.И. Лаптев<sup>1</sup>, А.Л. Маслов<sup>1</sup>,  
Б.В. Спицын<sup>2</sup>, А.Е. Алексенко<sup>2</sup>,  
А.А. Аверин<sup>2</sup>, И.А. Архипушкин<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Научно-исследовательская лаборатория сверхтвердых материалов НИ-  
ТУ «МИСиС», г. Москва,

<sup>2</sup> Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина  
РАН, г. Москва)

## ОСАЖДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК CVD-АЛМАЗА, ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ

Легированный бором алмаз является перспективным материалом для использования в полупроводниковой технике и электронике, а также в качестве детекторов тяжелых частиц и датчиков, например, давления или температуры.

Получение синтетического моно- и поликристаллического алмаза, легированного бором, возможно с применением следующих технологий:

– НРНТ: требует воздействия на материал высоких температур и давлений в сочетании с введением в реакционный объем борсодержащего соединения; не позволяет получать равномерное распределение примеси (бора) и, соответственно, свойств получаемого материала по объему;

– ионная имплантация: метод подходит для создания полупроводниковых структур, однако требуются дополнительные затраты не только на имплантацию, но и на последующий отжиг кристаллов [1];

– CVD: получение алмазных материалов из газовой фазы; позволяет получать алмазы высокого качества с равномерным распределением примеси по объему кристаллов и тонких пленок или градиентной концентрацией примеси по толщине, которые можно использовать в высокотехнологичных устройствах, медицинской технике и ювелирной отрасли [2, 3].

В работе исследовались свойства пленок легированного бором алмаза, полученных по третьей технологии. Для осаждения использовалась плазма, состоящая из метана (расход 25 см<sup>3</sup>/мин) и водорода (расход 480 см<sup>3</sup>/мин). В качестве источника бора в газовую среду из барботера потоком водорода (расход до 10 см<sup>3</sup>/мин) вводился борноэтиловый эфир. Получение алмазных пленок осуществлялось в течение 2 ч при температуре подложки 1100 °С, давлении 30,7 кПа, мощ-

ности магнетрона 3800 Вт. В результате экспериментов получены тонкие пленки легированного бором алмаза толщиной около 8 мкм.

В проведенных ранее работах для оценки содержания бора в полученных монокристаллических алмазных пленках нами использовался микрорентгеноспектральный анализ [3]. Данная методика подходит для изучения сильно легированных бором алмазных пленок, однако для изучения пленок с невысоким уровнем легирования использовать ее не может ввиду возникновения больших погрешностей.

В данной работе исследование образцов проводилось методом комбинационного рассеяния света (рамановской спектроскопии) на приборе Renishaw inVia Reflex (длина волны 405 нм).

В результате исследований получены и проанализированы рамановские спектры, которые имели вид, представленный на рисунке 1.

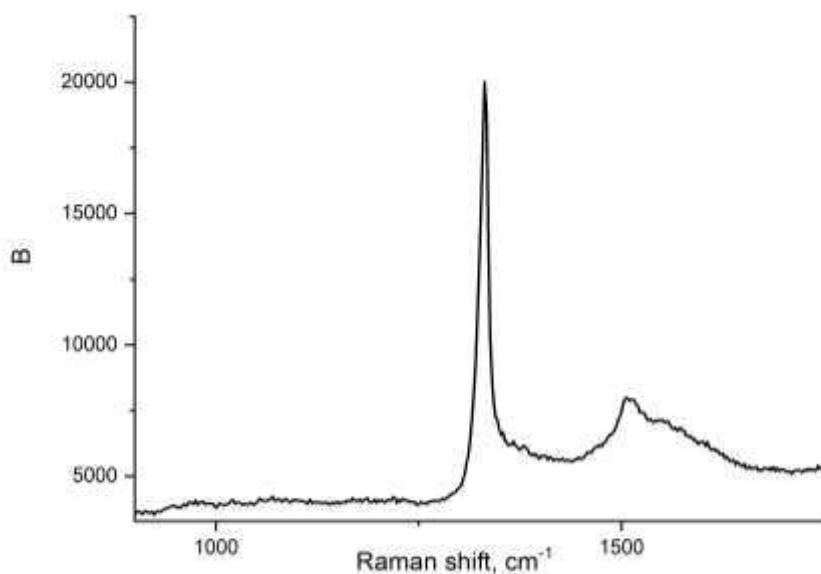


Рисунок 1 – Рамановский спектр легированной бором алмазной пленки

Острый пик при  $1332\text{ см}^{-1}$  на спектрах указывает на кристаллическую структуру алмаза. При этом стоит отметить наличие кристаллического графита, которому соответствует пик при  $1580\text{ см}^{-1}$  [4]. Наличие достаточно интенсивного пика графита на рамановских спектрах обусловлено графитацией алмазной поверхности ввиду высокой температурой синтеза и отсутствием последующего отжига, что было необходимо для сохранения тонкого слоя алмаза, легированного бором.

На основе интенсивности и полуширины алмазных линий на рамановских спектрах, с применением методики, предложенной в ра-

боте [5], рассчитана концентрация бора в образцах, которая составляла в среднем  $7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

Таким образом, в результате исследований были отработаны методики синтеза и исследования легированных бором CVD монокристаллических алмазов, которые в последующем позволят с воспроизводимо синтезировать из газовой фазы алмазы с заданным содержанием бора и в экспресс-формате исследовать их, что позволит расширить потенциал научного и практического применения алмазов, легированных бором.

Работа выполнена в рамках федерального целевого по теме «Разработка технологии и аппаратуры для получения сверхчистых монокристаллов алмаза CVD методом и процессов их легирования для использования в фотонике и в микроэлектронике в виде высокотемпературных полупроводников» (Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57818X0266) при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Siemek, K., Dryzek, J., Mitura-Nowak, M. Positron annihilation studies of long range effect in Ar, N and C ion-implanted silicon // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2020. V. 465. P. 73 – 78.

2 The Global Diamond Industry 2018 // Bain and Company. URL: [https://www.bain.com/contentassets/a53a9fa8bf5247a3b7bb0b10561510c2/bain\\_diamond\\_report\\_2018.pdf](https://www.bain.com/contentassets/a53a9fa8bf5247a3b7bb0b10561510c2/bain_diamond_report_2018.pdf) [режим доступа: свободный].

3 Polushin, N.I., Laptev, A.I., et.al. Deposition of Boron-Doped Thin CVD Diamond Films from Methane-Triethyl Borate-Hydrogen Gas Mixture // Processes. – 2020. – V. 8. – 666.

4 Raman spectra of a graphite–nontronite association in marbles from Oltrek Island / T. N. Moroz, H. G.M. Edwards, et.al. // Journal of Raman Spectroscopy. 2013. V. 51. N. 9. P. 1885 – 1893.

5 Методика оценки коэффициента поглощения лазерного излучения в борсодержащих алмазах по интенсивности его комбинационного рассеяния / Поклонская О.Н.// Приборы и методы измерений. 2013. Т. 2 (7). С. 73 – 79.