

4. Ю.М. Климков, В.С. Майоров, М.В. Хорошев Взаимодействие лазерного излучения с веществом: учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2014.– 108 с.
5. Чумаков А. Н., Никончук И. С., Поклонский Н. А., Горбачук Н. И., Поклонская О. Н., Обухов В. Е. Электропроводящие структуры в лазерно-модифицированных пленках алмазоподобного углерода / Известия НАН Беларуси. СЕРИЯ физико-математических наук 2014 № 4, С.72–76

## ПАРАМАГНЕТИЗМ ВОДОРОДОПОДОБНОГО ЦЕНТРА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ CVD АЛМАЗА

Н. М. Лапчук<sup>1</sup>, А. Н. Олешкевич<sup>1</sup>, В. Т. Т. Nguyen<sup>1</sup>, А. В. Хомич<sup>2</sup>, Т. М. Лапчук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, lapchuk@bsu.by

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия

### ВВЕДЕНИЕ

Полученные методом газофазного осаждения алмазные пленки содержат такие сопутствующие синтезу примеси как водород и азот. От соответствующего количественного содержания той и другой примеси в решетке поли- или монокристаллического CVD алмаза зависят не только оптические, но и их электрофизические свойства [1]. Внимание к примесям водорода в алмазе, обусловлено интересами технологии синтеза и алмазного приборостроения [2]. В процессе роста алмазной пленки из газовой фазы ее поверхность полностью покрыта водородом, который стабилизирует углеродные sp<sup>3</sup>-связи в верхнем слое углеродных атомов, обеспечивая селективное осаждение углерода в форме алмаза. Однако природа вхождения водорода в алмаз до сих пор не изучена и является актуальной проблемой, как с научной, так и с практической точки зрения [1]. Целью работы было определение методом электронного парамагнитного резонанса основных параметров водородсодержащего дефекта *H1* и установление отличительных особенностей его по сравнению с *S1*-центром в CVD-алмазе.

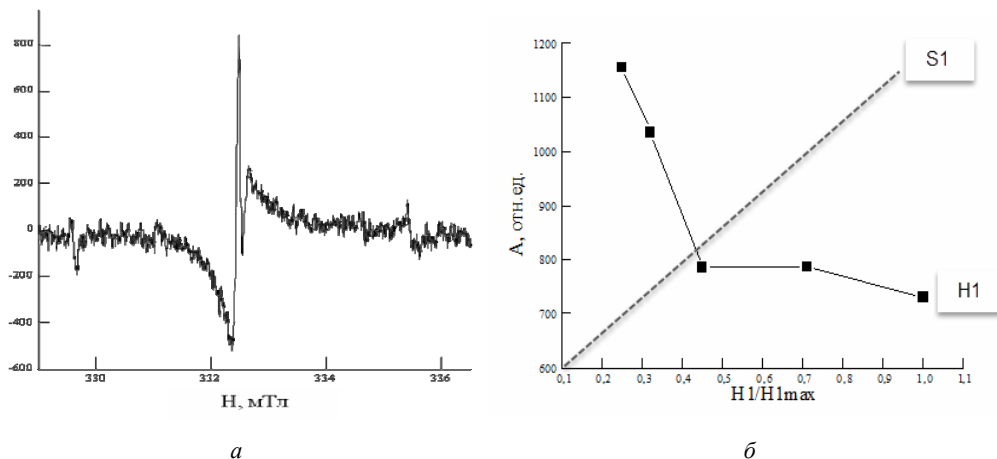
### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектами исследования были поликристаллические алмазные CVD-плёнки толщиной 310 мкм (примесное содержание азота – 23 ppm, водорода – 230 ppm). Регистрация спектров ЭПР осуществлялась на спектрометре «RadioPAN SE/X-2543» в X-диапазоне при включенной автоподстройке частоты генератора СВЧ (клизотрона) по частоте резонатора Н<sub>102</sub>. Поляризирующее магнитное поле модулировалось с частотой 100 кГц; чувствительность спектрометра –  $3 \cdot 10^{12}$  спин/мТл.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

В пленках CVD алмаза содержание примеси водорода обусловлено, в отличие от синтетических монокристаллов алмаза, технологией получения пленок. В спектре ЭПР пленки CVD-алмаза (рис.1 а), зарегистрированного при мощности СВЧ излучения 200 мВт, наблюдается инвертированный парамагнитный центр *P1* и совмещенная с центральной узкой компонентой этого центра широкая линия, основные параметры резонансного поглощения которой близки к парамагнитному центру *S1* (разорванная углерод-углеродная связь). Однако, исследуя кинетические и релаксаци-

онные процессы в этом образце, было показано, что амплитуда, ширина и  $g$ -фактор линии ЭПР изменяются с увеличением мощности СВЧ излучения не как у этого центра. Такая же линия наблюдалась в работе авторов [3], которые предполагают, что это  $H1$ -центр (водород-вакансионный цент). На рисунке 1 б представлена зависимость амплитуды линии ЭПР  $H1$ -центра в алмазной CVD пленке от мощности СВЧ излучения.



**Рисунок 1. – Спектр ЭПР, регистрируемый в CVD- алмазе (а); зависимость амплитуды широкой линии в спектре ЭПР ( $H1$ -центр) от мощности СВЧ излучения (б). Пунктирная линия показывает аналогичную зависимость для  $S1$ -центра. ( $H_1/H_{1max}$  – нормированная на максимальное значение магнитная компонента СВЧ-поля.  $H_{1max}$  соответствует мощности СВЧ излучения 200 мВт)**

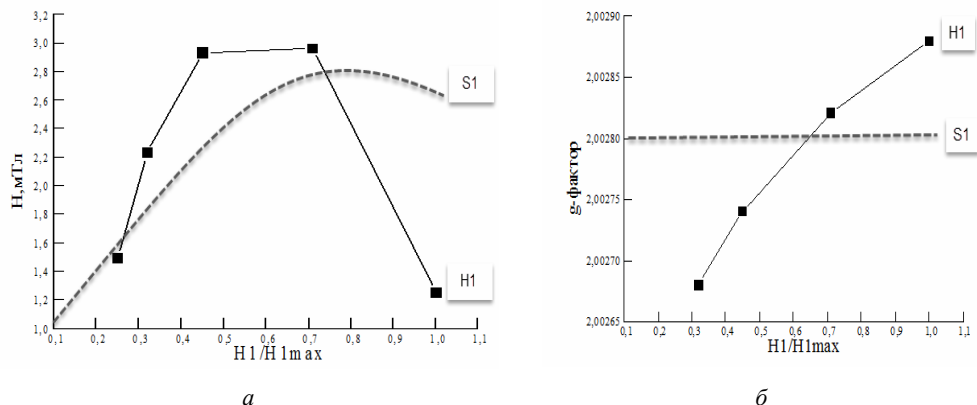
На рисунке 2 а и 2 б представлены зависимости ширины линии ЭПР  $H1$ -центра и фактора спектроскопического расщепления в алмазной CVD пленке от мощности СВЧ излучения.

Для сравнения с  $S1$ -центром пунктирной линией показана зависимость таких же параметров для данного центра. Так, например, фактор спектроскопического расщепления для  $S1$ -центра в CVD пленках алмаза с малым содержанием водорода практически не изменяется с увеличением мощности СВЧ-излучения, тогда как для  $H1$ -центра, наблюдаемого в CVD пленках алмаза с большим содержанием водорода,  $g$ -фактор увеличивается от 2,00267 до  $2,00288 \pm 0,00005$  с ростом уровня микроволнового излучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненной работы можно сделать следующие выводы.

В CVD пленках алмаза с примесным содержанием азота – 23 ppm и водорода – 230 ppm в спектрах ЭПР кроме линий, принадлежащих парамагнитному азоту ( $P1$ -центр), наблюдается линия, природа которой обусловлена присутствием в образцах алмаза водород-вакансионного  $H1$ -центра. Этот центр по своим параметрам спектра ЭПР близок к  $S1$ -центру (спин электрона, локализованный на разорванной углерод-углеродной связи) и характеризуется  $g=2,00288$  и шириной линии  $\Delta H = 0,125$  мТл при мощности СВЧ-излучения 200 мВт. Интенсивность сигнала ЭПР  $H1$ -центра коррелирует с концентрацией водорода в CVD пленках алмаза.



**Рисунок 2. – Зависимость ширины линии ЭПР (а) и g-фактора (б)  $H1$ -центра от мощности СВЧ излучения. Пунктирная линия показывает аналогичную зависимость для  $S1$ -центра. ( $H1/H1_{max}$  – нормированная на максимальное значение магнитная компонента СВЧ-поля.  $H1_{max}$  соответствует мощности СВЧ излучения 200 мВт)**

Обнаружено, что основные параметры спектра ЭПР  $H1$ -центра, такие как амплитуда, ширина и фактор спектроскопического расщепления зависят от мощности СВЧ-излучения. Показано, что отличие парамагнитных центров  $S1$  и  $H1$  заключается не только в различной природе их образования, но и по поведению их релаксационных характеристик, т.е. проявляют разный характер зависимости от величины микроволнового поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андриевский Р. А. Водород в наноструктурах // УФН. 2007. Т. 177. № 7. С. 721–735.
2. Ральченко В. Г., Конов В. И. CVD-алмазы: применение в электронике // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2007. № 4. С. 58–67.
3. Лапчук Н.М., Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, В.Г. Ральченко, Е.В. Заведеев, Р.А. Хмельницкий, А.В. Хомич. Локализация и состояние водорода в наномасштабных областях в алмазных пленках и кристаллах. Труды VIII Международной конференции "Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов" (ICNMS'2003), 2003 г., С.792–795.
4. Mizuochia N. Isotope effects between hydrogen and deuterium microwave plasmas on chemical vapor deposition homoepitaxial diamond growth / N. Mizuochia, J. Isoya, J. Niitsuma, T. Sekiguchi, H. Watanabe, H. Kato, T. Makino, H. Okushi, and S. Yamasaki // Journal of applied physics 101, 103501 (2007).