

УДК 679.826; 621.793.162

## Синтез монокристаллов алмаза в СВЧ-плазме

*А. П. Большаков, В. Г. Ральченко, А. В. Польский, В. И. Конов, Е. Е. Ашкинази, А. А. Хомич, Г. В. Шаронов, Р. А. Хмельницкий, Е. В. Заведеев, А. В. Хомич, Д. Н. Сovsky*

*В СВЧ-плазме (частота 2,45 ГГц) в смесях водород—метан на подложках из природных и синтетических монокристаллов алмаза с ориентацией (100) и размером до 5×5 мм выращены эпитаксиальные алмазные слои со скоростью осаждения до 40 мкм/ч. Структура и дефектно-примесный состав полученных монокристаллов толщиной до 600 мкм исследованы методами оптической спектроскопии, электронной и оптической микроскопии. Подтверждено высокое качество и чистота осажденных из плазмы алмазных слоев.*

PACS: 81.05.ug, 81.15.Gh, 68.55.J-

*Ключевые слова:* монокристалл, алмаз, эпитаксия, химическое осаждение из газовой фазы, СВЧ-плазма, фотолюминесценция, катодолюминесценция.

### Введение

Развитие технологии выращивания алмазных покрытий и пластин из газовой фазы (метод CVD — Chemical Vapor Deposition) за последние 10—15 лет сделало этот уникальный материал доступным и востребованным для электроники (теплоотводящие элементы для СВЧ-приборов, детекторы ионизирующего излучения, светодиоды на экситонах) [1—3], оптики (окна для ИК-лазеров и гиروتронов, ВКР-лазеры) [4—6], механики [7] и других областей, где используются экстремальные свойства алмаза. Метод синтеза алмаза из СВЧ-плазмы (MPCVD) в смесях углеводородов

(метана) и водорода обеспечивает наивысшую чистоту материала среди других известных CVD-методов и позволяет получать поли- и монокристаллический алмаз с минимальным содержанием примесей бора и азота (менее 100 ppb) [8], т. е. на 1—2 порядка ниже, чем для лучших природных кристаллов или синтезируемых при высоких давлениях и температурах (метод HPHT).

Важным направлением современных исследований в технологии CVD-алмаза является получение монокристаллического алмаза, поскольку наличие границ зерен, двойников и других видов дефектов в поликристаллических пленках существенно снижает эффективность приборов на алмазе (детекторов, светодиодов, полевых транзисторов и т. д.), уменьшая время жизни и подвижность носителей заряда. В современных плазмохимических СВЧ-реакторах можно получать эпитаксиальные пленки алмаза толщиной от нескольких нанометров до нескольких миллиметров [9—14]. Толстые (> 300 мкм) структурно-совершенные CVD-слои и отделенные от подложки алмазные пластины могут использоваться для изготовления детекторов ионизирующих излучений, высоковольтных переключателей, монохроматоров рентгеновского излучения, рентгеновской оптики и др.

В работе представлены результаты по синтезу эпитаксиальных алмазных пленок толщиной до 600 мкм на монокристаллических подложках из природных и синтетических алмазов, а также по исследованию морфологии и дефектно-примесного состава подложек и CVD-слоев.

### Подготовка и контроль качества монокристаллических подложек

Для эпитаксиального наращивания алмаза использовали два вида подложек с ориентацией ос-

**Большаков Андрей Петрович**, старший научный сотрудник.  
**Ральченко Виктор Григорьевич**, зав. лабораторией.  
**Польский Алексей Викторович**, инженер.  
**Конов Виталий Иванович**, руководитель Центра.  
**Ашкинази Евгений Евсеевич**, старший научный сотрудник.  
**Хомич Андрей Александрович**, аспирант.  
**Заведеев Евгений Викторович**, научный сотрудник.  
**Совык Дмитрий Николаевич**, младший научный сотрудник.  
Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН  
Центра естественно-научных исследований.  
Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38.  
Тел. (499) 503-83-45. E-mail: bolshak@ran.gpi.ru  
**Шаронов Геннадий Викторович**, зав. лабораторией.  
Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Сеченко БГУ.  
Беларусь, 220108, Минск, ул. Курчатова, 7.  
Тел. +37529 755-38-17.  
**Хмельницкий Роман Абрамович**, старший научный сотрудник.  
Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН.  
Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., 53.  
**Хомич Александр Владимирович**, старший научный сотрудник.  
Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН.  
Россия, 141190, Фрязино, пл. Введенского, 1.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2011 г.

© Большаков А. П., Ральченко В. Г., Польский А. В., Конов В. И., Ашкинази Е. Е., Хомич А. А., Шаронов Г. В., Хмельницкий Р. А., Заведеев Е. В., Хомич А. В., Совык Д. Н., 2011

новной грани (100): 1) прямоугольные пластины 5,0×4,5×0,3 мм, вырезанные из природного монокристалла типа IIa, и 2) отполированные с двух сторон пластины с линейными размерами от 3×3 до 5×5 мм и толщиной от 0,3—1,0 мм (рис. 1), изготовленные из синтетических монокристаллов алмаза типа Ib (получены методом НРНТ) в Институте прикладных физических проблем им А. Н. Севченко БГУ (г. Минск) [15]. Полировку проводили механически на ограночном станке (конкретно, на шаржированном алмазным порошком чугуном диске).

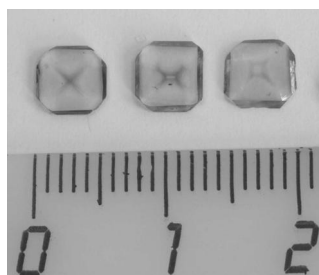


Рис. 1. Монокристалльные алмазные НРНТ-подложки

Наиболее легко эпитаксия алмазной пленки из плазмы происходит на грани (100), причем без образования поликристаллических областей и множественных дефектов при оптимальных условиях синтеза. Здесь необходимым условием эпитаксиального роста является малость угла разориентации  $\Delta\theta$  кристаллографической плоскости (100) с поверхностью подложки (не более  $3^\circ$ ). Для исследованных подложек значения угла  $\Delta\theta$  лежали в пределах  $0,7\text{—}2,5^\circ$ , как это определено по кривым качания при рентгено-дифракционном анализе.

Измерение макрорельефа и шероховатости поверхности подложек проводили методом оптической интерферометрии белого света на приборе New Vew 5000 “Zygo” (с разрешением по вертикали  $1 \text{ \AA}$  и порядка  $1 \text{ мкм}$  латерально). Измерялась среднеарифметическая шероховатость поверхности  $R_a$  и среднеквадратичная шероховатости  $R_{rms}$ . Метод позволяет строить трехмерное изображение поверхности, а также проводить линейные сканы между двумя заранее выбранными точками на поверхности, как это делается традиционными “перьевыми” профилометрами. Всего было исследовано 23 подложки, отполированных в различных режимах. Измеренные значения шероховатости  $R_a$  (размер анализируемой области поверхности  $670 \times 900 \text{ мкм}$ ) лежали в диапазоне от  $0,6$  до  $12 \text{ нм}$  (рис. 2). Изменение режимов полировки (использование более мелких фракций шлифпорошков, увеличение длительности процесса полировки) позволило снизить шероховатость до предельно малых величин  $R_a = 0,6\text{—}0,8 \text{ нм}$ .

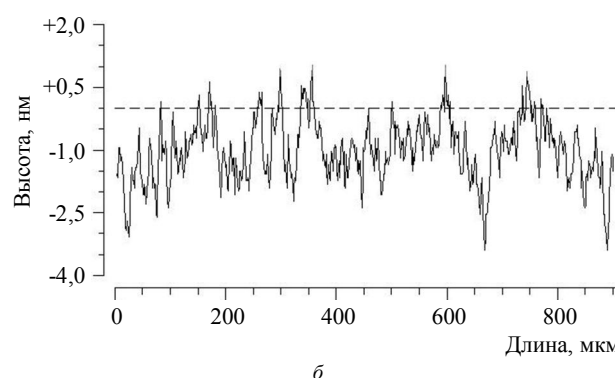
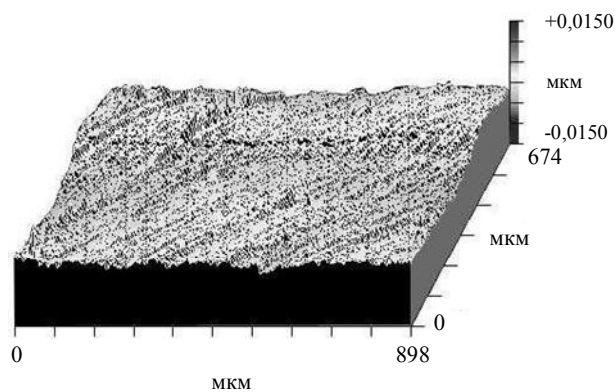


Рис. 2. Пример рельефа поверхности алмазной подложки после финишной полировки. Образец № П11. Размер кадра  $670 \times 900 \text{ мкм}$ : 3-мерный вид (а) и скан вдоль диагонали кадра (б). Величина шероховатости  $R_a = 0,6 \text{ нм}$ ,  $R_{rms} = 0,8 \text{ нм}$

Проведенная паспортизация монокристаллических подложек позволила отобрать пластины с наименьшим углом разориентации кристаллографической плоскости (100) с поверхностью подложки и с минимальной шероховатостью.

Перед ростовыми экспериментами подложки подвергались стандартной процедуре очистки, а именно, кипячению в хромпике с последующей промывкой в ацетоне (в ультразвуковой ванне). Кроме того, перед напуском в ростовую камеру метана, проводилась окончательная очистка рабочей поверхности в водород-кислородной плазме ( $2\% \text{ O}_2$  в  $\text{H}_2$ ) в течение  $30\text{—}120$  мин [16]. При достаточно высоком давлении ( $> 70$  Торр) и/или высокой СВЧ-мощности ( $> 2 \text{ кВт}$ ) процедура обработки в такой плазме приводит к неоднородному травлению поверхности монокристаллической подложки и удалению большей части дефектов (рис. 3). Скорость травления дефектных областей на поверхности подложки, например, дислокаций, возникающих при ее механической обработке, существенно выше, чем у областей поверхности с ненарушенной структурой. Это позволяет отобрать наиболее совершенные пластины, т. е. с наименьшей концентрацией фигур травления на поверхности.

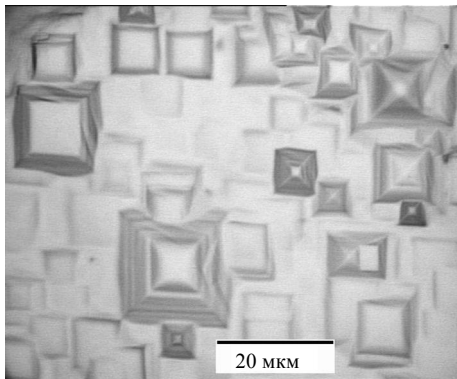


Рис. 3. Фигуры травления на поверхности грани (100) монокристаллической подложки, вызванные обработкой в  $\text{H}_2(98\%)/\text{O}_2(2\%)$  плазме (2 ч)

### Синтез эпитаксиальных алмазных слоев в СВЧ-плазме

Исследование режимов осаждения эпитаксиальных монокристаллических алмазных слоев в СВЧ-плазме проводили в специализированном реакторе ARDIS-100 (рис. 4) производства ООО "Оптосистемы" (г. Троицк) [17]. Основные характеристики установки: вводимая в камеру СВЧ-мощность до 5 кВт, частота 2,45 ГГц, рабочее давление до 300 Торр, 4 независимых газовых канала, расход газа до  $1000 \text{ см}^3/\text{с}$ , компьютерный контроль ростовых параметров процесса. Синтез проводили в метан-водородных газовых смесях высокой чистоты (водород 99,9998 %, метан 99,98 %). Контроль температуры осуществлялся двулучевым пирометром Mikron M770.

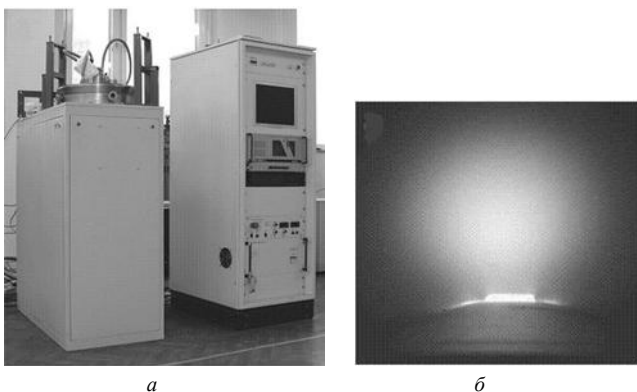


Рис. 4. Установка ARDIS-100 (а) и процесс роста эпитаксиального алмазного слоя в СВЧ-плазме на подложке из синтетического монокристалла алмаза (б)

Подложку устанавливали на подложкодержатель из молибдена в виде усеченного конуса. Основные ростовые параметры варьировались в следующих диапазонах: газовая смесь  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$  (0,5—7 %); общий расход газа  $500\text{—}1000 \text{ см}^3/\text{мин}$ ; СВЧ-мощность 1,7—2,5 кВт; рабочее давление 70—140 Торр; температура подложки 800—1100 °С, время осаждения от 30 мин до 60 ч. Скорость рос-

та в зависимости от технологических условий составляла от 0,5 до 12 мкм/ч.

Диапазон концентрации метана в рабочей смеси (0,5—10 %) хорошо известен из литературы. Такие метан-водородные смеси успешно используются для роста алмаза во всех типах микроволновых CVD-реакторов, тогда как оптимальные значения мощности и давления могут существенно различаться в зависимости от геометрии реактора. При настройке этих двух параметров мы следили также за тем, чтобы температура подложки не превышала 1100 °С. Основным критерием оптимизации была скорость роста пленки, а также стабильность плазмы. С одной стороны, чем выше давление в камере и больше СВЧ-мощность, тем больше скорость роста, с другой — при "высоких" давлениях объем плазменного облака существенно уменьшается, что приводит к увеличению потерь СВЧ-энергии за счет уменьшения поглощения в плазме. Это, в свою очередь, приводит к нестабильности плазмы (плазма начинает мерцать) вплоть до полного ее схлопывания. Так, например, доля мощности, возвращающейся обратно к магнетрону и рассеивающейся в циркуляторе, при давлении  $P = 80$  Торр может составлять 2—3 % от падающей, а при  $P = 150$  Торр — более 20 %.

При синтезе слоев толщиной в сотни микрометров умеренные скорости роста (~8 мкм/ч) сочетались с низкой степенью дефектности растущего материала при следующих параметрах: мощность 2,1—2,5 кВт, давление 120—130 Торр, температура ~ 950—1100 °С, содержание метана в смеси 4 %. Некоторые условия роста и свойства полученных образцов приведены в таблице. При неизменных условиях скорость роста меняется незначительно и не зависит от типа подложки (НРНТ или природная). Был также опробован режим "скоростного" роста, когда к рабочей углеводородной смеси добавляют азот  $\text{N}_2$  в небольших концентрациях [18]. В смеси  $\text{N}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$  при 2 %  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  и 10 %  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  реализован процесс наращивания алмаза со скоростью 40 мкм/ч (см. таблицу).

### Условия роста алмаза: скорость роста $V$ , толщина CVD-слоя $h$ и ширина алмазного пика $\Delta\nu$ (FWHM) в КР-спектре

Образец	Подложка	$\text{CH}_4/\text{H}_2$ , %	$\text{N}_2/\text{CH}_4$ , %	$h$ , мкм	$\Delta\nu$ , $\text{см}^{-1}$	$V$ , мкм/ч
A009	НРНТ	4	—	600	1,8	8,8
A010	НРНТ	4	—	560	1,8	8,4
A278	Природная	4	—	540	1,9	8,7
M4BC	НРНТ	10	2	40	2,2	40,0

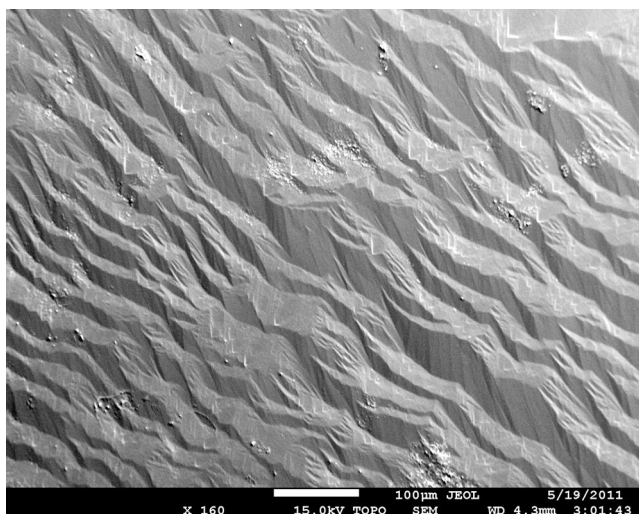
Синтезированы эпитаксиальные алмазные пленки толщиной от долей микрона [14] до 500—600 мкм (рис. 5). После наращивания алмазных слоев пластины отжигали на воздухе при темпера-

туре 590 °С в течение 30 мин или кипятили в хромпике для удаления включений аморфного и графитоподобного углерода, затем анализировали образцы методами оптической и растровой электронной микроскопии (РЭМ), катодолюминесценции и оптической спектроскопии.



**Рис. 5. Эпитаксиальный слой CVD-алмаза толщиной 600 мкм на HPHT-подложке размером 4,5×4,5 мм.** Темная зона по краю — поликристаллическая алмазная пленка на торцевых гранях. Фото в оптическом микроскопе

При толщинах пленок более 20 мкм на поверхности формируются микроступеньки, могут развиваться микродвойники — типичные дефекты в алмазе в силу малости энергии, необходимой для их рождения. Дальнейшее увеличение толщины эпитаксиальной пленки от нескольких десятков и более микрон приводит к формированию сложной топографии поверхности CVD-слоя, как правило, в виде “волн” (рис. 6).



**Рис. 6. Изображение РЭМ-рельефа поверхности CVD-слоя толщиной 380 мкм**

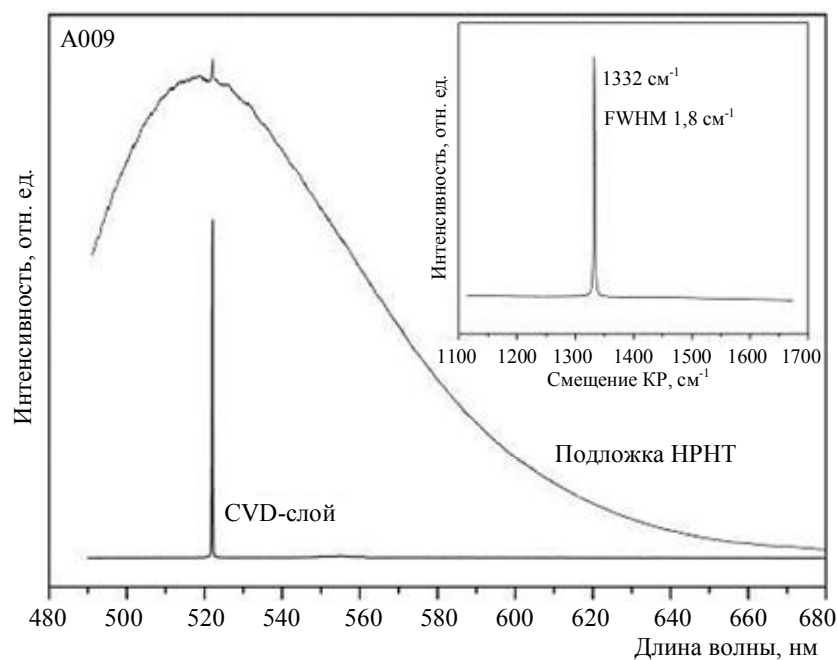
### Исследования дефектно-примесного состава подложек и CVD-слоев методами оптической спектроскопии

Целью оптических исследований было определить, в какой степени кристалличность алмазных

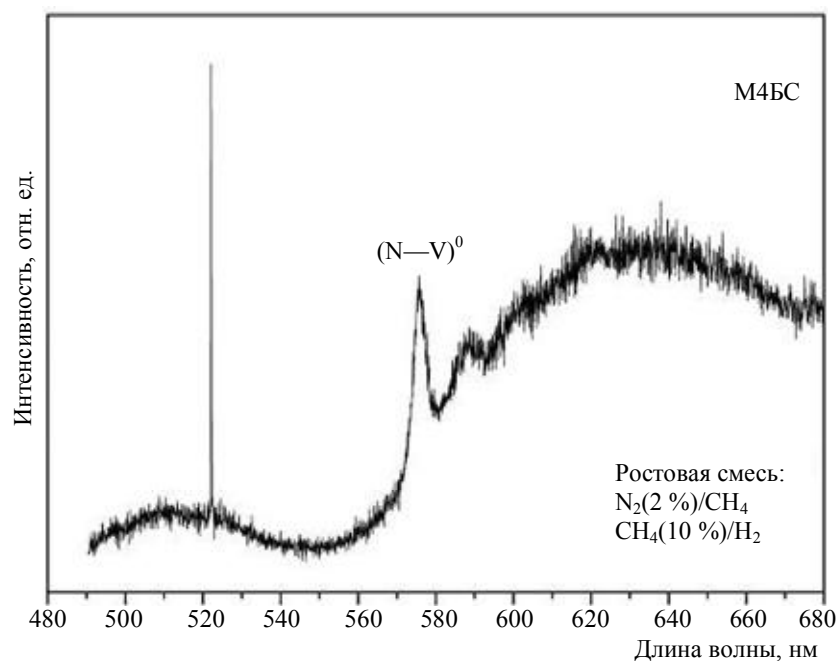
пленок повышена, а содержание примесей снижено по сравнению с подложкой. Для определения концентрации примесей азота в замещающем положении в HPHT-подложке регистрировали ИК-спектры в области 2,5—50 мкм на спектрофотометре M80 (Carl Zeiss) и инфракрасном Фурье-спектрометре SPECTRUM 100 (Brucker). Анализировалась форма полосы ИК-поглощения в однофоновой области (1400—800 см<sup>-1</sup>), и по методике [19] проведена оценка концентрации азота (1—3)·10<sup>19</sup> см<sup>-3</sup> для различных монокристаллических подложек. Концентрация азота в CVD-слое оценивалась по интенсивности линии поглощения на длине волны 270 мкм, обусловленной дисперсным парамагнитным азотом [20]. Она не превышала 10<sup>17</sup> см<sup>-3</sup>, если N<sub>2</sub> в плазму не подмешивали.

О структурном совершенстве CVD-слоев и подложек судили по виду спектров комбинационного рассеяния света (КР), снятых с двух сторон образца — отдельно для подложки и пленки. Сдвиг КР по частоте проходящего сквозь кристалл света обусловлен взаимодействием колебаний решетки (фононов) с фотонами. Чем совершенней кристалл, тем более узкая линия наблюдается в спектре рассеянного излучения. Спектры КР и фотолюминесценции (ФЛ) получали на спектрометре LabRam HR (фирма Horiba, Франция) в геометрии рассеяния назад при возбуждении рассеяния света на длине волны 488 нм аргонового ионного лазера. Для минимизации анализируемого объема материала применяли конфокальную оптическую схему. Лазерное излучение фокусировали на поверхности объекта с помощью объектива ×100 в пятно диаметром около 2 мкм. Спектральное разрешение составляло 0,5 см<sup>-1</sup>. На вставке рис. 7 представлен КР-спектр эпитаксиальной алмазной пленки, записанный в широком спектральном интервале (1170—1730 см<sup>-1</sup>). В спектре присутствует только одна линия на частоте 1332 см<sup>-1</sup>, она является однозначным признаком колебаний алмазной решетки. Ширина линии на полувысоте составляет всего 1,8 см<sup>-1</sup> (для подложек HPHT получили значение 1,9 см<sup>-1</sup>, для подложек из природного алмаза — 1,8 см<sup>-1</sup>), что говорит, во-первых, о весьма высоком совершенстве кристаллической структуры, во-вторых, что кристалличность пленки по сравнению с подложкой улучшилась.

Качественным методом обнаружения примесей в алмазе является фотолюминесцентная спектроскопия. На рис. 7 показаны (вверху) спектры ФЛ HPHT-подложки и CVD-слоя толщиной 600 мкм, выращенного из метан-водородной смеси. В спектре подложки наблюдается широкая полоса люминесценции с узким пиком КР. Содержание азот-вакансионных центров (N—V), которые могут наблюдаться на 575 и 637 нм, в подложке мала, по видимому, из-за низкой концентрации вакансий.



а



б

**Рис. 7. ФЛ-спектры:**

а — HPNT-подложки и CVD-слоя толщиной 600 мкм, полученного в смеси  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  (образец A009). На вставке показан КР-спектр CVD-слоя; б — алмазной пленки, выращенной с добавлением азота (образец M4BC)

В спектре CVD-алмаза, выращенного без добавления азота в газовую смесь, наблюдается только интенсивный пик КР (522 нм) от алмаза. Признаков аморфного или графитоподобного углерода не обнаружено. Для пленки, полученной из смеси  $\text{N}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$  (образец M4BC), в спектре ФЛ помимо пика КР наблюдается сильная линия на 575 нм, связанная с присутствием нейтральных центров азот—вакансия  $(\text{N}-\text{V})^0$ . Таким образом, азот, добавляемый в газовую фазу для повышения скорости роста пленки, активно встраивается в

решетку, существенно влияя на оптические свойства растущего алмаза.

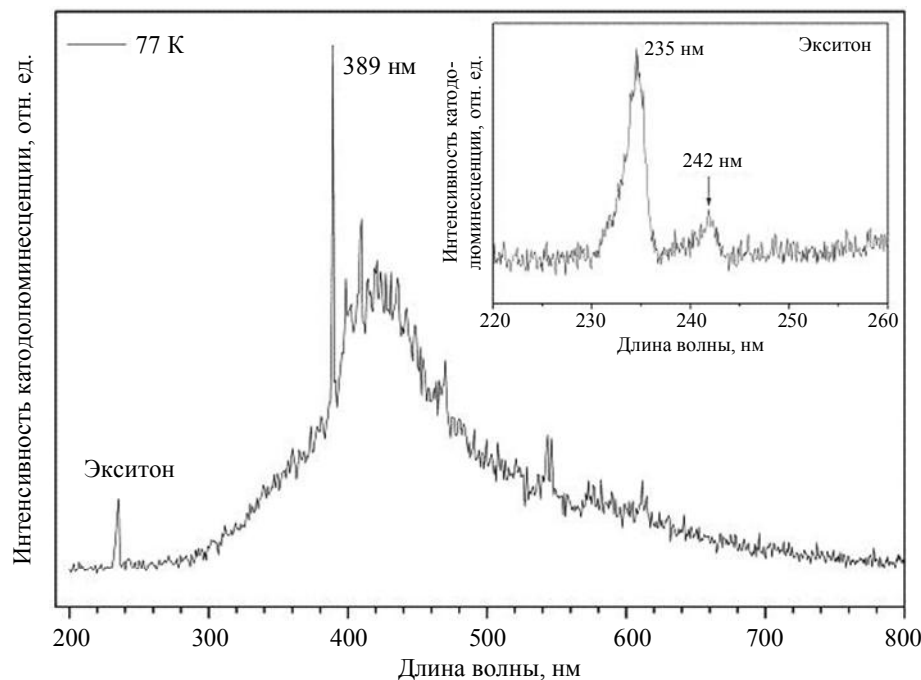
Спектры катодолюминесценции (КЛ) исследовали на растровом электронном микроскопе JSM-7001F. Измерения проводили при температуре 77 К, ускоряющем напряжении 15 кВ и токе 2 мкА. КЛ-спектр пленки толщиной 70 мкм, полученной в смеси  $\text{CH}_4(4\%)/\text{H}_2$ , показан на рис. 8. В спектре присутствуют [20]: широкая А-полоса с максимумом около 430 нм, обусловленная дислокациями; интенсивный оптический центр с бесфононной

линией 389 нм, возможно, связанный с азотом, находящимся в междоузельном положении (характерен для CVD-алмаза); пик на 545 нм, вероятно, является триплетом, возбужденным вторичной фотолюминесценцией в подложке (наблюдается в алмазе типа Ib). Вблизи края запрещенной зоны алмаза наблюдается пик, соответствующий реплике

детекторах ионизирующего излучения, лазерной технике и оптике широкого спектрального диапазона.

Авторы благодарят В. С. Седова и А. Ф. Поповича за помощь в подготовке и проведении экспериментов, А. А. Руденко за исследования образцов на РЭМ.

Рис. 8. Спектр катодолуминесценции CVD-слоя



свободного экситона с ТО-фононом (141 мэВ) и ТО-фотоном + рамановским фононом (167 мэВ), согласно [21] (на вставке структура экситонного пика с максимумами на 235 и 242 нм показана более подробно). Присутствие экситонного пика считается признаком достаточно высокого совершенства алмаза.

### Заключение

В работе представлены результаты исследований по синтезу монокристаллических алмазных слоев и кристаллов толщиной до 600 мкм в плазмохимическом СВЧ-реакторе ARDIS 100 в смесях  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  и  $\text{N}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2$ . Эпитаксиальный рост алмаза реализован на грани (100) подложек из синтетических и природных монокристаллов алмаза. Скорость роста CVD-слоя составила до 40 мкм/ч. Найдено, что предростовая обработка поверхности подложек в  $\text{O}_2/\text{H}_2$  плазме эффективна для удаления поверхностных дефектов, возникающих при их механической полировке. Анализ спектров фотолюминесценции и катодолуминесценции подтвердил весьма высокое качество выращенных образцов монокристаллов CVD-алмаза, перспективных для применений в активной электронике,

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, ГК № 16.513.11.3081, а также при частичной поддержке РФФИ, грант № 10-02-90038-Бел\_а, Программы ОФН РАН "Физика новых материалов и структур" и ведущей научной школы НШ-7556.2010.2

### Литература

1. Sussmann R. S. CVD diamond for electronic devices and sensors. — Chichester: Wiley, 2009. P. 571.
2. Ральченко В. Г., Конов В. И. // Электроника: Наука, технологии, бизнес. 2007. № 4. С. 58.
3. Ральченко В. Г., Савельев А. В., Конов В. И., Маццо Г., Спаццани Ф., Конте Г., Поляков В. И. // Квантовая электроника. 2006. Т. 36. № 6. С. 487.
4. Лукьянов А. Ю., Ральченко В. Г., Хомич А. В., Сердюев Е. В., Волков П. В., Савельев А. В., Конов В. И. // Там же. 2008. Т. 38. № 12. С. 1171.
5. Mildren R. P., Sabella A. // Opt. Lett. 2009. V. 34. No. 18. P. 2811.
6. Thumm M. // Diamond Relat. Mater. 2001. V. 10. P. 1692.
7. Turchetta S., Carrino L., Polini W. // Diamond Relat. Mater. 2005. V. 14. P. 641.
8. Martineau P. M., Gaukroger M. P., Guy K. B., Lawson S. C., Twichen D. J., Friel I. et al. // J. Phys.: Condens. Matter. 2009. V. 21. art. 364205.

9. Balmer R. S., Brandon J. R. et al. // J. Phys.: Condens. Mater. 2009. V. 21. art. 3642211.
10. Mokuo Y., Chayahara A., Soda Y., Yamada H., Horino Y., Fujimori N. // Diamond Relat. Mater. 2006. V. 15. P. 455.
11. Алтухов А. А., Вихарев А. Л., Горбачев А. М., Духновский М. П. и др. // Физика и техника полупроводников. 2011. Т. 45. № 3. С. 403.
12. Muchnikov A. B., Vikharev A. L., Gorbachev A. M., Radishev D. B., Blank V. D., Terentiev S. A. // Diamond Relat. Mater. 2010. V. 19. P. 432.
13. Сергеевичев К. Ф., Лукина Н. А. // Прикладная физика. 2010. № 6. С. 44.
14. Calvani P., Rossi M. C., Conte G., Carta S., Giovine E., Pasciuto B., Limiti E., Bolshakov A., Ralchenko V., Sharonov G. // Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 2010. V. 1203. P. 185.
15. Шаронов Г. В., Большаков А. П., Ральченко В. Г., Каюциц Н. М., Петров С. А. // Журнал прикладной спектроскопии. 2010. Т. 77. № 5. С. 714.
16. Tallaire A., Achard J., Silva F., Sussmann R. S., Gicquel A., Rzepka E. // Phys. stat. sol. (a). 2004. V. 201. No. 11. P. 2419—2424.
17. www.cvd-diamond.ru
18. Yan C., Vohra Y. K., Mao H., Hemley R. J. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2002. V. 99. No. 20. P. 12523.
19. Clark C. D., Davey S. T. // J. Phys. C.: Solid State Phys. 1984. V. 17. P. 1127.
20. Zaitsev A. M. Optical Properties of Diamond: A Data Handbook — Berlin: Springer, 2001.
21. Dean P. J., Lightowers E. C., Wight D. R. // Phys. Rev. A. 1965. V. 140. P. 352.

## Growth of the single crystal diamond in microwave plasma

*A. P. Bolshakov, V. G. Ralchenko, A. V. Polskiy, V. I. Kononov, E. E. Ashkinazi, A. A. Khomich, E. V. Zavedeev, D. N. Sovyk*

Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences,  
38 Vavilov str., Moscow, 119991, Russia  
E-mail: bolshak@ran.gpi.ru

*G. V. Sharonov*

A. N. Sevchenko Research Institute of Applied Physical Problems of the BSU,  
7 Kurchatov str., Minsk, 220064, Belarus

*R. A. Khmel'nitskiy*

Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,  
53 Leninskij prospekt, Moscow, 119991, Russia

*A. V. Khomich*

Institute of Radioengineering and Electronics (IRE) of the Russian Academy of Sciences,  
1 Vvedensky sq. 1, Fryazino, Moscow region, 141120, Russia

***Microwave plasma (2.45 GHz) was used to deposit the single crystal diamond layers with a deposition rate up to 40  $\mu\text{m}/\text{h}$  on natural and HPHT monocrystalline substrates with deposition surface (100) and dimensions up to 5×5 mm. The deposited layers structure and defect/impurities composition have been studied by Raman and photoluminescence spectroscopy, cathode luminescence spectroscopy, electron and optic microscopy. The high quality of the synthesized layers has been confirmed.***

PACS: 81.05.ug, 81.15.Gh, 68.55.J-

**Keywords:** single crystal, diamond, epitaxy, CVD process, microwave plasma, photoluminescence, cathodoluminescence.