



Директор
ИРЭ им. В.А. Котельникова
член-корр. РАН

С.А. Никитов

” октября 2019г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук на диссертационную работу **Мартынова Артема Константиновича** «Формирование в СВЧ плазме алмазных плёнок и композитов, содержащих оптически активные примеси Si, Ge, Eu», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Актуальность темы

Темой диссертационной работы Мартынова А.К. является формирование в СВЧ плазме алмазных плёнок и композитов, содержащих оптически активные примеси Si, Ge, Eu. В работе проводится изучение процессов синтеза алмазных плёнок в СВЧ плазме с газообразным прекурсором — источником примеси (SiH_4 , GeH_4); изучение процессов синтеза композитов «алмаз-РЗЭ» (EuF_3 и $\beta\text{-NaGdF}_4:\text{Eu}$); изучение структуры, фазового состава и оптических свойств полученных материалов.

Актуальность данной темы подтверждается тем, что существующие методы включения кремния в пленки алмаза из силана не позволяли получить достаточно узкие линии для задач квантовой оптики; влияние параметров плазмохимического осаждения алмазных плёнок на спектральные характеристики центров окраски в них изучено недостаточно; остаётся открытым вопрос о наличии новых линий, связанных с кремнием в алмазе;

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Содержит 75 рисунков и библиографический список использованных источников из 284 наименований. Общий объем диссертации составляет 133 стр.

К наиболее значимым научным и практическим результатам работы следует отнести следующие:

1. Определены режимы синтеза (концентрация SiH_4/CH_4 , температура) легированных кремнием поликристаллических алмазных плёнок в СВЧ плазме, способствующие образованию оптически активных дефектов «кремний-вакансия» в алмазе с интенсивной узкополосной фотолюминесценцией (ФЛ) на длине волны 738 нм.
2. В эпитаксиальных алмазных слоях, осаждённых в СВЧ плазме из газовой смеси CH_4/H_2 с добавлением изотопно-обогащённого силана, получены ансамбли SiV-центров (кремний -вакансия центров) с узкими компонентами БФЛ в спектрах поглощения. Определён изотопический сдвиг компонент БФЛ SiV.
3. В поликристаллических алмазных плёнках, осаждённых в СВЧ плазме из газовой смеси $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{SiH}_4$ на подложки из нитрида алюминия, вольфрама и кремния, обнаружены центры с ФЛ в полосе 720-722 нм, интенсивность свечения которых с повышением температуры осаждения растёт опережающим темпом по сравнению с интенсивностью ФЛ SiV.
4. Реализовано контролируемое внедрение германия поликристаллические алмазные плёнки. Получены центры окраски GeV с интенсивной ФЛ на длине волны 602 нм. Найдены оптимальные соотношения ($\text{GeH}_4/\text{CH}_4 \approx 10\%$) в диапазоне концентраций 0-36%, которые обеспечивают максимальную интенсивность излучение GeV-центров.
5. Разработан метод получения новых рентгенолюминесцентных алмазных композитов, заключающийся во внедрении наночастиц фторидов редкоземельных элементов в поликристаллические алмазные плёнки непосредственно в процессе плазмохимического осаждения алмаза из газовой фазы. Изготовлены и охарактеризованы композитные материалы с наноразмерными частицами EuF_3 и $\text{NaGdF}_4:\text{Eu}$, внедрёнными в поликристаллические алмазные плёнки, обладающие интенсивной фото- и рентгенолюминесценцией на длине волны 612 нм. Установлена концентрационная зависимость интенсивности рентгенолюминесценции от количества внедренных частиц.

Оценка новизны и достоверности

Научная новизна представленных в диссертации исследований:

- Получены ансамбли моноизотопных SiV-центров с рекордно узкой полосой люминесценции (полушириной 4,8 ГГц) при помощи контролируемого внедрения кремния в алмазные пленки из газообразного силана непосредственно во время плазмохимического синтеза алмазных плёнок.
- Обнаружены и охарактеризованы новые оптические центры в поликристаллических алмазных плёнках с ФЛ в полосе 720-722 нм.
- Впервые получены центры окраски германий-вакансия в алмазе при использовании газообразного германа в качестве источника примеси, и определены условия синтеза алмаза, обладающего рекордной интенсивностью ФЛ центров GeV.
- Впервые из газовой смеси метан-водород-герман получен композитный материал германий-алмаз.
- Разработан метод получения новых рентгенолюминесцентных алмазных композитов, заключающийся во внедрении наночастиц фторидов редкоземельных элементов в поликристаллические алмазные плёнки непосредственно в процессе плазмохимического осаждения алмаза из газовой фазы.
- Получены и охарактеризованы новые алмазные композиты с внедрёнными наноразмерными частицами EuF₃ и β-NaGdF₄:Eu в качестве источников ФЛ и РЛ.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, большим количеством синтезированных и проанализированных образцов, воспроизводимостью результатов экспериментов.

Основные результаты диссертации были представлены на всероссийских и международных конференциях, опубликовано 16 тезисов в материалах и сборниках трудов конференций. Основные положения работы опубликованы в рецензируемых научных журналах в 6 статьях, в том числе 5 из них изданы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 4 входят в базу данных Web of Science.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Учитывая важность развития работ по технологии алмазных пленок результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию в исследовательской работе в научных и учебных

учреждениях, занимающихся синтезом алмазных материалов и применением их в различных областях науки и техники, в особенности в фотонике, оптоэлектронике, и электронике: в ФТИ им. А.Я. Иоффе РАН, ИОФ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова (Физический факультет, НИИЯФ), ИФХЭ РАН, Троицком Институте сверхтвердых и новых углеродных материалов, ИПФ РАН, ИРЭ РАН, РНЦ «Центр Келдыша», МИЭТ.

Замечания по диссертационной работе

Диссертация не лишена ряда недостатков:

1. В структуре диссертации явный перекос в сторону увеличения объема текста литературного обзора, описания стандартных приборов и пр. по сравнению с описанием и анализом результатов работы. Даже в разделе «Постановка задачи» собственно задачам посвящено 11 строк из трех страниц.
2. Часто упоминаемое в тексте понятие выращенных «низконапряженных пленок» кроме собственно названия никак не характеризуется величинами напряжений (видимо, механических). См, например, стр. 79.
3. Автор утверждает, что были выращены пленки алмаза легированные Ge. Однако, по данным, приведенным на рис. 52. Можно говорить лишь о композите алмаз – германий.
4. Аналогично, суждение в отношении «легирования» кремнием нельзя считать верным, так как не приводится никаких данных по исследованию структуры зерен алмаза, а также элементного состава и структуры на границах зерен алмаза.
5. В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки и стилистические неувязки.

Заключение

Диссертация Мартынова Артема Константиновича «Формирование в СВЧ плазме алмазных плёнок и композитов, содержащих оптически активные примеси Si, Ge, Eu», представляет собой завершенное научное исследование. Полученные в ней результаты обладают научной новизной и практической ценностью, их актуальность и достоверность не вызывают сомнения.

Отмеченные недостатки не снижают качество работы и не влияют на главные результаты диссертации. Работа базируется на достаточном числе

полученных экспериментальных данных. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор Артем Константинович Мартыянов заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Доклад по материалам, вошедшим в диссертацию А.К. Мартыянова, заслушан на заседании Научно-квалификационного Семинара ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН по направлению «Технология новых материалов и структур для радиотехники и электроники» 4 октября 2019 г., текст отзыва Семинаром одобрен.

Зам. Председателя Семинара

к.ф.-м.н.,



Копылов Ю.Л.

Ученый секретарь Семинара

к.ф.-м.н.



Садовский П.И.