



Др. Александр И. Шамес,

Старший научный сотрудник,

Лаборатория Магнитного Резонанса

Департамента Физики,

Факультета Естественных Наук

Университета им. Бен-Гуриона в Негеве

Phone: +972-6472581; Fax: + 972-6428529

e-mail: sham@bgu.ac.il

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Комаровских Андрея Юрьевича

«Исследование структуры и электронного состояния парамагнитных центров в алмазе, связанных с вхождением фосфора, кислорода, водорода, кремния и германия»,

представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук

по специальности 02.00.04 – физическая химия

Алмаз, хорошо известный как уникальный минерал, обладающий высокой твердостью, теплопроводностью, а также высокой стоимостью в ювелирных изделиях, в последние годы оказался в фокусе пристального интереса разработчиков самых продвинутых высоких технологий. Современные технологии роста алмазных кристаллов и пленочных структур дают возможность целенаправленно изменять свойства алмазов посредством введения различных примесных элементов. В мире активно ведутся работы по синтезу алмазов с *n* и *p*-типом проводимости: так, в Японии уже проходят испытания опытных установок для силовой электроники с использованием полупроводниковых



устройств на основе алмазных элементов. Элементы «алмазной» твердотельной электроники структуры востребованы для создания приборов, работающих в экстремальных условиях (радиация и высокие температуры). Развитие нанотехнологий в первую очередь связано с развитием квантовой фотоники и созданием квантовых компьютеров. В ведущих лабораториях мира активно прорабатываются условия использования парамагнитных оптически активных центров NV⁻, SiV и GeV в алмазе для различных квантовых приложений. Поэтому актуальность исследования структуры и электронного состояния электрически и оптически активных парамагнитных центров в алмазе, связанных с вхождением примесных элементов P, N, O, Si и Ge, не вызывает сомнения.

Как следует из текста автореферата, диссертация состоит из трех глав. Первая глава посвящена обзору литературных данных о собственных и примесных парамагнитных центрах в алмазе. На основании анализа литературных данных диссертантом сформулированы задачи, которые предстояло решить в диссертационной работе. Вторая глава содержит информацию об объектах исследования и методах исследования. Автор использует комплекс современных спектроскопических методов исследования: ЭПР, ИК и люминесценции, традиционно применяемых для получения объективной информации о структуре и электронном состоянии дефектов в алмазе. Одним из несомненных достоинств работы диссертанта и авторского коллектива публикаций является использование изотопного обогащения примесных элементов. Эта техника позволяет повысить надежность и точность идентификации природы наблюдаемых спектров ЭПР. В трех разделах третьей главы приведены основные результаты диссертации.

Из наиболее важных результатов диссертации хотелось бы отметить следующие:

(а) Автором продолжены работы по исследованию трансформации азотно-фосфорных центров при высокотемпературном отжиге кристаллов алмаза. Показано, что примесный азот является акцептором электрона по отношению к примесному фосфору и при НТНР активации диффузии примесного азота образуются азотно-фосфорные центры с уровнями



энергии в центре запрещенной зоны. Эти центры, как впрочем и центры, образующиеся при трансформации ближайшего окружения вокруг примесного фосфора с тетраэдрического на октаэдрическое, не определяют n -тип проводимости при допировании фосфором кристаллов алмаза. И только при концентрациях примесного фосфора, превышающих концентрацию примесного азота, наблюдается спектр ЭПР от электронов проводимости, обусловленный вхождением примеси фосфора;

(б) автору удалось обнаружить три типа кислород-содержащих парамагнитных центров. Для одного из них при изотопном обогащении ^{17}O обнаружено проявление неразрешенной СТС от изотопа ^{17}O ;

(в) особое внимание заслуживают результаты по Ge-V и Si -В центрам в алмазе, поскольку последнее время в литературе ведется интенсивная дискуссия, как о природе этих центров, так и о возможности их применения в различных квантовых приложениях. Так, по данным СТС от ^{73}Ge , симметрии центра и анализа параметров тонкой структуры спектра ЭПР для GeV^0 центра впервые была подтверждена структура германиевого центра в виде германия в центре двойной полувакансии. Результаты по введению примеси бора в ростовую систему Mg-C-Si позволили получить информацию о том, что оптическая система, характеризующая излучением 720 nm в люминесценции, обусловлена парамагнитным центром с $S = 1/2$, содержащем атомы кремния и бора.

Результаты диссертационной работы получили широкую апробацию на большом количестве специализированных научных конференциях, опубликованы в материалах 16 докладов, а также в 7 статьях в отечественных и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК.

В целом диссертационная работа **Комаровских Андрея Юрьевича** представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне. По результатам работы диссертанта решены задачи влияния примесного азота на возможность создания алмазных элементов с проводимостью n -типа посредством



допирования кристаллов алмаза фосфором, а также определена структура и электронное состояние германий-вакансионного и бор-кремниевого оптически активных центров в алмазе. Достоверность выводов диссертации не вызывает сомнения. Диссертационная работа Комаровских Андрея Юрьевича удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. А сам диссертант, Комаровских Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

*Др. Александр И. Шамес,
Alexander I. Shames, PhD
Senior Researcher, in charge of
Laboratory of Magnetic Resonance
Department of Physics, BGU*

ד"ר אלכסנדר שמש
זו"ר פיסיקה טל: 08-6472581

PHYSICS DEPARTMENT
Ben-Gurion University of the Negev
84105 Beer-Sheva, ISRAEL