

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело _____

решение диссертационного совета от 10 декабря 2018 г. № 58

О присуждении Нгуен Ван Лыонгу, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Лазерное нано/микроструктурирование и сверхлегирование примесями серы поверхности кремния» по специальности 01.04.05 – «Оптика» принята к защите 8 октября 2018 года, протокол № 57 диссертационного совета Д002.023.03, созданного 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Нгуен Ван Лыонг, 1983 года рождения, в 2006 году окончил Ханойский государственный политехнологический университет со степенью специалиста по специальности «техническая физика» со специализацией «электронные материалы». С 28 декабря 2006 года по 09 сентября 2013 года работал в «Российско-Вьетнамском исследовательском тропическом центре» (г. Ханой, Вьетнам). С 28 сентября 2013 года по 28 июня 2014 изучал русский язык в Московском физико-техническом институте (государственный университет)» (МФТИ). С 02 декабря 2014 года обучался по специальности 01.04.05 – «Оптика» в аспирантуре МФТИ, которую закончил в декабре 2018 года.

Диссертация работа Нгуен Ван Лыонга выполнена в Отделении квантовой радиофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент Кудряшов Сергей Иванович, ведущий научный сотрудник факультета фотоники и оптоэлектроники Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО) и старший научный сотрудник лаборатории газовых лазеров ФИАН (совместитель).

Официальные оппоненты:

1. Головань Леонид Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ)

2. Мелентьев Павел Николаевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лазерной спектроскопии Института спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук Шафеевым Георгием Айратовичем, директором Научного центра волновых исследований Института общей физики ИОФ РАН, и утвержденном доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН Гарновым Сергеем Владимировичем, директором ИОФ РАН, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в то числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 4 работы опубликовано в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of

Science и Scopus. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных Нгуен Ван Лыонгом работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. **Nguyen Van Luong.**, Danilov P. A., Ionin A. A., Khmel'nitskii P. A., Kudryashov S. I., Mel'nik N. N., Saraeva I. N., Smirnov H. A., Rudenko A. A., Zayarny D. A. One-step nanosecond laser microstructuring, sulfur hyperdoping, and annealing of silicon surfaces in liquid carbon disulfide // AIP Conference Proceedings. -2017. - V. 1874. - № 1. - P. 040026.

2. Ionin A. A., Kudryashov S. I., Levchenko A. O., **Nguyen L. V.**, Saraeva I. N., Rudenko A. A., Ageev E. I., Potorochin D. V., Veiko V. P., Borisov E. V., Pankin D. V., Kirilenko D. A., Brunkov P. N. Correlated topographic and structural modification on Si surface during multi-shot femtosecond laser exposures: Si nanopolymorphs as potential local structural nanomarkers // Applied Surface Science - 2017. - V. 416. - P. 988-995.

3. Danilov P. A., Ionin A. A., Khmel'nitskii R. A., Kudryashov S. I., Mel'nik N. N., **Nguyen Van Luong.**, Saraeva I. N., Smirnov N. A., Rudenko A. A., Zayarny D. A. One-Step Nanosecond-Laser Microstructuring, Sulfur-Hyperdoping, and Annealing of Silicon Surfaces in Liquid Carbon disulfide // Journal of Russian Laser Research. - 2017. - V.38. - № 2. - P. 185-190.

4. **Luong Van Nguyen.**, Kudryashov S. I., Rudenko A. A., Khmel'nitskii R. A., Ionin A. A. Separation of Mid-IR Light Trapping and Sulfur-Donor Absorption in Nanosecond-Laser Sulfur-Hyperdoped Silicon: a Way to Spatially-and Spectrally-Engineered Interband IR-Absorption // Journal of Russian Laser Research. - 2018. - V. 39. - № 2. - P. 192-199.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием признанных достижений в области оптики и лазерной физики.

Диссертационный совет отмечает следующие результаты на основании выполненных соискателем исследований.

1. При облучении пластин кремния, погруженных в среду жидкого сероуглерода, ИК-лазерными импульсами различных длительностей (120 наносекунд, 10 пикосекунд и 300 фемтосекунд) с изменением поверхностной плотности энергии ($19-48 \text{ Дж/см}^2$ для наносекундных и 1 Дж/см^2 для фемто/пикосекундных импульсов) и многоимпульсной экспозиции сформированы, соответственно, поверхностные микроструктуры в виде массивов микрократеров и наноструктуры в виде одномерных субволновых нанорешеток рельефа с периодом около 100 нм. С ростом экспозиции от 25 до 200 импульсов для фемто/пикосекундных лазерных импульсов, общее содержание донорной примеси серы в виде отдельных атомов и их комплексов в сверхлегированных поверхностных слоях кремния монотонно увеличивается и достигает 3 атомных процентов.

2. С помощью современных структурных и микроаналитических методов, таких как электронная микроскопия и дифракция, спектроскопия комбинационного рассеяния, энергодисперсионный рентгеновский микроанализ и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, систематически и детально охарактеризованы полученные микро- и нано-масштабные текстуры лазерно-модифицированного поверхностного слоя и топографии рельефа, его кристаллическое состояние по субмикронной глубине, а также содержание, распределение по глубине и химическое (окисленное, кластерное) состояние легирующей донорной примеси серы в сверхлегированном поверхностном слое толщиной 0.5 мкм.

3. С использованием широкополосной ИК-спектроскопии установлено низкое пропускание (до 5%) лазерно-модифицированных поверхностных слоев кремния в диапазоне 1.5-25 мкм благодаря эффекту пленения света в микро/наноструктурном рельефе и межзонным ИК-переходам «зона донорных состояний серы–зона проводимости» для легирующих нейтральных или заряженных одноатомных примесных центров серы в ряде их

характеристических полос поглощения в областях около 2 мкм (S^+), 2.5 мкм (S_2^+), 4 мкм (S^0), 5 мкм (S_2^0), или их комплексов типа $S_c^0(X_{1,2,3})$ (5-10 мкм).

Результаты работы Нгуен Ван Лыонга оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается использованием сертифицированного оборудования, хорошей воспроизводимостью, согласием с существующей теорией, апробацией в форме докладов на российских и международных конференциях и в виде публикаций в ведущих мировых научных журналах.

Все результаты получены лично автором либо при его непосредственном участии.

Научная новизна полученных результатов связана с использованием ИК-лазерного излучения различных длительностей, широким варьированием его плотности энергии и экспозиции, новой, химически-активной средой лазерной обработки – жидким сероуглеродом, формированием микро- и наноструктурных поверхностных слоев кремния, сверхлегированных атомами и комплексами серы с чрезвычайно высоким содержанием серы (до нескольких атомных процентов). С помощью нескольких аналитических методов систематически и всесторонне установлены нано- и микромасштабные топографии образцов и их кристаллическое состояние по глубине и структуре, содержание, распределение и химическое состояние легирующей донорной примеси серы в поверхностном слое. Установлены эффекты пленения света и межзонного ИК-поглощения «зона донорных состояний серы–зона проводимости» легирующих атомов серы или их комплексов.

Практическая значимость работы связана с возможными применениями результатов, полученных в диссертации Нгуен Ван Лыонга, для задач высокочувствительной ИК-визуализации, создания приборов ночного и тепловидения, тонкопленочных фотоэлектрических и термоэлектрических солнечных элементов.

В диссертационной работе решена задача формирования микро/наноструктурных поверхностных слоев кремния, сверхлегированных донорной примесью серы, под действием ИК-лазерного излучения нано-, пико- и фемтосекундной длительности в среде жидкого сероуглерода. Детально исследованы структурно-химические свойства, продемонстрировано высокое поглощение сверхлегированных поверхностных слоев в ИК диапазоне и исследованы его причины, что имеет важное значение для развития оптики и оптоэлектроники.

На заседании 10 декабря 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Нгуен Ван Лыонг учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 19 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.05 – Оптика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 16,

против присуждения учёной степени - 1,

недействительных бюллетеней - 2.

Председатель диссертационного совета,
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

Золотко Александр Степанович

10 декабря 2018г.