

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Гончара Кирилла Александровича

«Оптические свойства рассеивающих сред на основе кремниевых нанонитей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальностям 01.04.05 – оптика и 01.04.10 – физика полупроводников

Интерес к кремниевым наноструктурам связан как с широким использованием кремния в микро- и оптоэлектронике, так и с обнаруженными новыми физическими и биологическими свойствами нанокремния. Такие свойства особенно ярко проявляются у кремниевых нанокристаллов нитевидной формы (нанонитей), что можно использовать в фотовольтаике для повышения КПД солнечных батарей, фотонике для создания новых светоизлучающих устройств, а также в сенсорике и других областях науки и техники.

В последнее время активно исследуются кремниевые нанонити, формируемые методом металл-стимулированного химического травления, которые имеют вид плотных массивов нанонитей с характерными размерами поперечных сечений порядка 100 нм. Благодаря высокому значению показателя преломления кремния и близкому расположению нанонитей, такие наноструктуры представляют большой интерес для исследования явления рассеяния света в широком спектральном диапазоне. Однако влияние условий приготовления кремниевых нанонитей на их структурные и оптические свойства изучено пока в недостаточной степени. Данному вопросу и посвящена диссертация К.А. Гончара. Проведение таких исследований важно как для развития оптики рассеивающих сред, так и для сенсорных и биомедицинских применений нанонитей.

Диссертация содержит 120 страниц, 81 рисунок, 9 таблиц и 164 библиографические ссылки. По структуре диссертационная работа состоит из введения, трёх глав и заключения.

Во **введении** определены цели и задачи запланированных исследований, сформулирована авторская оценка актуальности и практической значимости полученных результатов, приводятся защищаемые положения.

Первая глава представляет собой обзор литературы, в котором рассмотрены различные подходы к формированию кремниевых нанонитей, среди которых особое

внимание уделяется методу металл-стимулированного химического травления. Представлены литературные данные по оптическим свойствам кремниевых нанонитей и обозначены проблемы, решению которых посвящена основная часть диссертации.

Во **второй главе** описывается получение кремниевых нанонитей методом металл-стимулированного химического травления, приведены изображения образцов кремниевых нанонитей, полученных с помощью сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов. Изложены методики экспериментов по изучению оптических свойств кремниевых нанонитей, среди которых ИК спектроскопия, измерения спектров полного отражения с помощью интегрирующей сферы, индикатрис упругого рассеяния света, комбинационного рассеяния света, когерентного антистоксова рассеяния света, кросс-корреляционной функции фотонов, генерации третьей гармоники, а также спектров и кинетик фотолюминесценции.

Третья глава посвящена экспериментальным результатам и их обсуждению. Глава содержит 5 разделов. **Раздел 3.1** посвящён изучению линейных оптических свойств ансамблей кремниевых нанонитей. Были измерены спектры полного отражения с помощью интегрирующей сферы и обнаружена немонотонная зависимость коэффициента полного отражения света в области длин волн 400 - 1000 нм от длины нанонитей.

В **разделе 3.2** изучается комбинационное рассеяние света и обнаружена логарифмическая зависимость интенсивности комбинационного рассеяния света от толщины слоя кремниевых нанонитей.

В **разделе 3.3** представлены результаты исследования нелинейно-оптических свойств и времен задержки фотонов. Впервые проведены измерения кросс-корреляционных функций фотонов, рассеянных в ансамблях кремниевых нанонитей, в результате чего было зарегистрировано многократное увеличение времени взаимодействия света с кремниевыми нанонитями по сравнению с подложками кристаллического кремния. Увеличением времени взаимодействия света с веществом в результате многократного отражения от стенок нанонитей объясняется рост эффективности линейных и нелинейных оптических процессов, включающих спонтанное комбинационное рассеяние света, когерентное антистоксово рассеяние и генерацию третьей гармоники в ансамблях кремниевых нанонитей.

В разделе 3.4 изучаются фотолюминесцентные свойства кремниевых нанонитей в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Впервые обнаружена немонотонная зависимость интенсивности межзонной фотолюминесценции в области 1100 - 1200 нм в слоях кремниевых нанонитей от их длины.

Раздел 3.5 посвящён изложению модельных представлений о распространении света в ансамблях КНН, объясняющих полученные экспериментальные данные по их линейным и нелинейным оптическим свойствам.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

Несмотря на положительную в целом оценку диссертационной работы, считаю необходимым сделать некоторые замечания, а именно:

1. Не обсуждается влияние толщины и состава оксидных слоёв на поверхности кремниевых нанонитей на их оптические свойства.
2. Было бы интересным исследовать индикатрисы упругого рассеяния света при больших толщинах кремниевых нанонитей, что позволило бы определить диапазон применимости выявленных закономерностей.
3. Следует более подробно обсудить возможности применения обнаруженного эффекта видимой фотолюминесценции кремниевых нанонитей для практического использования, в частности, в биомедицине.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы. Научные положения, выносимые на защиту, являются новыми и оригинальными, а все основные выводы - корректными. Достоверность полученных результатов обоснована тщательной и многосторонней экспериментальной работой. В целом, представленная к защите диссертация выполнена на высоком научном уровне. Изложенные в ней результаты прошли апробацию на нескольких российских и международных научных конференциях. Основные результаты опубликованы в 7 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации. Научная новизна и актуальность диссертации К.А. Гончара не вызывают сомнения.

Диссертация Гончара Кирилла Александровича «Оптические свойства рассеивающих сред на основе кремниевых нанонитей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. По своей

актуальности, новизне, объёму выполненных исследований и ценности полученных результатов диссертационная работа отвечает всем требованиям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утверждённым постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013. Считаю, что Гончар Кирилл Александрович заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.05 – оптика и 01.04.10 – физика полупроводников.

Заведующий лабораторией
Института проблем лазерных и
информационных технологий РАН,
кандидат физ.-мат. наук,

Виктор Иванович Соколов

142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Пионерская, д. 2

Тел. +7(495)8510840

e-mail: visokol@rambler.ru

Подпись В.И. Соколова удостоверяю

Учёный секретарь ИЛИИТ РАН

Ф.В. Лебедев

