

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Родиной Анны Валерьевны на диссертацию Кавокина Алексея Витальевича на тему «Физика поляритонных лазеров», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Алексея Витальевича Кавокина посвящена физике поляритонных лазеров. Идея поляритонного лазера была впервые теоретически предложена Имамоглу и соавторами в 1996 году. Структура поляритонного лазера основана на геометрии планарной полупроводниковой микрополости и в этом плане аналогична лазерам с вертикальным резонатором. Однако физика поляритонных лазеров существенно отличается: собственными модами являются не фермионы, а композитные бозонные квазичастицы - экситонные поляритоны, образующиеся в результате сильной связи фотонной моды в резонаторе и экситоном в полупроводниковой структуре. Фундаментальное физическое явление, лежащее в основе формирования когерентного пучка фотонов в поляритонном лазере, основано на фазовом переходе к бозонному конденсату и его спонтанному излучению. Процесс конденсации в поляритонных лазерах должен происходить при средних плотностях квазичастиц - задолго до появления экранирующих эффектов, ведущих к переходу поляритонов и экситонов в электронно-дырочную плазму. Это обусловлено низкой эффективной плотностью состояний поляритонов, характеризующихся очень маленькой эффективной массой - на четыре порядка меньше, чем у обычных экситонов. Первое экспериментальное сообщение об усилении поляритонной фотолюминесценции при криогенных температурах относится к 1998 году - оно наблюдалось в структурах на основе CdTe, в которых частота микрорезонатора была настроена в резонанс с экситонным переходом в квантовой яме. Почти после 10-летнего перерыва после этого в работе с участием А.В. Кавокина [А4] было сообщено о наблюдении лазерного поляритонного излучения при комнатной температуре в объемной системе микрорезонатора на основе GaN. После этой работы началось бурное развитие и расширение исследований поляритонных лазеров, как экспериментальных, так и теоретических. В эти исследования физики поляритонных лазеров огромный вклад, во многих случаях пионерский, внесли и вносят работы А.В. Кавокина. Все вышесказанное определяет высокую актуальность исследований, представленных в диссертации А.В. Кавокина.

Следует отметить, что во многих работах А.В. Кавокина новые физические эффекты впервые предсказаны теоретически, а затем обнаружены экспериментально. Это относится например, к предсказанию и обнаружению оптического спинового эффекта Холла, спинового эффекта Мейсснера для поляритонного конденсата. В работах А.В. Кавокина вводятся новые понятия и термины, которые затем широко применяются в данной области исследований, предлагаются новые концепции и новые механизмы, которые затем разрабатываются и другими исследователями. По результатам работ опубликовано большое количество статей в рецензируемых журналах, ссылки на которые можно найти в любой статье, появляющейся в данной области. Книга «Microcavities», опубликованная А.В. Кавокиным в соавторстве с коллегами в издательстве Oxford university press в 2017 году, уже имеет более тысячи цитирований. Основные результаты и положения, выносимые на защиту, подкреплены ссылками на списки публикаций автора, включающие в

совокупности 54 позиции (списки Б1-Б18 и 1-36, соответственно) Таким **новизна, практическая значимость и достоверность** результатов исследований, представленных в диссертации А.В. Кавокина, и основных положений, выносимых на защиту, не вызывает ни малейших сомнений.

Для меня наиболее близким из направлений исследований А.В. Кавокина является направление, посвященное исследованию оптических поверхностных состояний - таммовских фотонов и плазмон-поляритонов. Такие состояния являются оптическим аналогом электронных поверхностных состояний на границе периодического потенциала, впервые предсказанных И.Е. Таммом. Таммовские фотонные или плазмон-поляритонные состояния проявляются в виде локализации электромагнитного поля на границе двух разных диэлектрических брэгговских отражателей (работа А.В. Кавокина [Б8], 2005) или фотонного кристалла и среды с отрицательной диэлектрической проницаемостью, то есть между металлическими и диэлектрическим зеркалами (работа А.В. Кавокина [Б9], 2007, в которой и был предложен сам термин «плазмон-поляритон»). Экспериментально таммовские плазмон-поляритоны проявляются в виде узкого резонанса в оптическом спектре пропускания или отражения образца на длинах волн внутри запрещенной зоны и были впервые продемонстрированы в работе А.В. Кавокина 2008 года [Б10].

Важную роль в современной фотонике играют гибридные моды, образующиеся при взаимодействии локализованных оптических мод различной природы. В работе [Б8] была исследована теоретически и экспериментально продемонстрирована возможность образования гибридных мод, образующихся в результате сильной связи между экситонами и поверхностными оптическими состояниями Тамма, локализованными на границе раздела. Было показано, что такие гибридные состояния могут быть использованы для создания поляритонного лазера без лазерной полости, что может быть проще с технологической точки зрения.

Эти пионерские работы с участием А.В. Кавокина получили дальнейшее развитие как в работах его группы, так и в работах других групп. При этом большое внимание уделяется созданию гибридных структур. Так в работе А. В. Кавокина 2016 года [18] был экспериментально продемонстрирован режим сильной связи между таммовским плазмоном и экситоном в структурах с двумерным монослоем диселенида вольфрама. В работе А. В. Кавокина 2016 года [18] экспериментально реализована гибридизация экситонных состояний в двух разных структурах – в квантовой яме из арсенида галлия и двумерном моноатомном слое диселенида молибдена. Гибридизация происходит благодаря взаимодействию этих разных экситонов с таммовской модой.

Когда тонкий металлический диск микронного радиуса осаждается на брэгговское зеркало, оптические состояния Тамма могут быть ограничены под поверхностью диска, создавая полость Тамма. Мне известны работы, в которых двумерные и нуль-мерные структуры Тамма были изготовлены путем осаждения плотного слоя коллоидных нанокристаллов CdSe/CdS между зеркалом Брэгга и слоем серебра или дисками различного диаметра. Было бы интересно узнать мнение диссертанта по поводу перспектив создания новых гибридных структур с применением нуль-мерных нанокристаллов перовскитов или двумерных перовскитных структур, активно исследующихся в настоящее время.

Диссертация Кавокина Алексея Витальевича на тему: «Физика поляритонных лазеров» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Кавокин Алексей Витальевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,
Профессор РАН,
Главный научный сотрудник лаборатории
спиновых и оптических явлений в полупроводниках,
ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
Родина Анна Валерьевна

А.В. Родина

10.11.2022

Подпись Родиной А.В. удостоверяю
зав. отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе



Султанов Е.М.
10.11.2022

Контактные данные:

тел.: 7(921)6501352, e-mail: anna.rodina@mail.ioffe.ru

Адрес места работы:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе),

Россия, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Тел.: +7 (812) 297-2245

Факс: +7 (812) 297-1017

Электронная почта: post@mail.ioffe.ru