

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Демирчяна Севака Серобовича

«Нелинейные и неклассические эффекты с экситонными поляритонами в полупроводниковых микрорезонаторах»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Демирчяна С.С. посвящена теоретическому исследованию нелинейных эффектов в полупроводниковых микрорезонаторах с квантовыми ямами при взаимодействии с квантованным излучением. Интерес к этому направлению исследований вызван тем, что на такие системы возлагают надежды, что в будущем они могут быть миниатюрными источниками нового типа когерентного излучения – поляритонными лазерами, работающими на безынверсионном принципе генерации, обладающие низким порогом возбуждения. Кроме того, такие системы можно будет, видимо, использовать для обработки и хранения информации. Применение указанных систем, основанных на экситонных поляритонах, ставит целый ряд практических задач, некоторые из которых изучаются в обсуждаемой диссертационной работе. В связи с этим решаемые в диссертации проблемы имеют высокую степень актуальности.

Научная новизна диссертации состоит, прежде всего, в теоретическом исследовании механизмов поддержания долговременной когерентности в системе экситонных поляритонов в полупроводниковом микрорезонаторе. Автором предложен способ решения проблемы быстрой потери когерентности поляритонными состояниями в полупроводниковых микрорезонаторах. Он заключается в использовании вынужденных переходов поляритонов из некогерентного резервуара, который формируется внешней оптической накачкой. Это открывает принципиально новые возможности для поляритонных лазеров и квантовых устройств обработки и хранения информации. Важным также является также изучаемый в диссертации вопрос о влиянии квантовых флуктуаций на характеристики поляритонной системы.

Диссертационная работа Демирчяна С.С. состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы, включающего 115 наименований. В Введении автором обосновывается актуальность исследований, отмечается научная новизна работы, ее цель, решаемые задачи и практическая значимость. Оценен личный вклад автора и сформулированы положения, выносимые им на защиту. Первая глава диссертации посвящена обзору литературы, в трех последующих главах представлены оригинальные полученные автором результаты.

Первая глава, занимающая около 40 страниц, содержит обстоятельный анализ современного состояние исследований по рассмотренным в работе вопросам. Подчеркивается, что несмотря на разработку общих физических принципов в поляритонике, существует еще немало проблем, ждущих своего решения. Решение некоторых из них составило цель диссертационной работы.

Вторая глава диссертации посвящена решению проблемы формирования долгоживущих суперпозиционных состояний поляритонов, относящихся к верхней и нижней ветвям дисперсии экситонных поляритонов в плоском полупроводниковом микрорезонаторе. Она решается с помощью специальным образом подобранной постоянной накачки, формирующей резервуар горячих экситонов, из которого происходит подпитка поляритонного состояния. В качестве доказательства взаимной когерентности между поляритонами верхней и нижней ветвей используется наличие биений

интенсивности оптического сигнала микрорезонатора, называемых также осцилляциями Раби. Определены условия и сформулированы требования к параметрам системы, необходимые для увеличения времени жизни осцилляций Раби в поляритонной системе. Произведенные автором аналитические расчеты показали возможность увеличения времени когерентности вплоть до наносекунд для параметров микрорезонаторов на основе полупроводникового материала GaAs. Стоит отметить, что через полгода после публикации этого результата автора появилась публикация, содержащая экспериментальное подтверждение данного вывода.

В третьей главе выполнены исследования нелинейных эффектов в полупроводниковых микрорезонаторах в условиях сильного взаимодействия света с экситонными возбуждениями в квантовых ямах. При этом изучены процессы взаимодействия между экситонной и фотонной подсистемами, а также определено влияние этих процессов на динамику макроскопических поляритонных состояний. В частности, показано, что нелинейность и квантовая природа экситонных поляритонов определяют дополнительные механизмы релаксации для осцилляций Раби. Это приводит к обмену населенностями между экситонной и фотонной компонентами. Из проведенных аналитических и численных расчетов выяснено, что, если осцилляции Раби поддерживаются за счет процессов рассеяния экситонов из резервуара на фононах, сопровождающихся возбуждением основного состояния, то нелинейное взаимодействие между экситонами делает невозможным установление незатухающих осцилляций – осцилляции медленно гаснут (на временах порядка нескольких нс). В то же время, если в системе доминирует парное рассеяние некогерентных экситонов с переходом в основное состояние, то нелинейные процессы не могут препятствовать установлению стационарных осцилляций. Кроме того, в этой главе показано, что незатухающие осцилляции Раби играют важную роль в установлении долгоживущих биений поляризации излучения микрорезонатора, которыми можно управлять внешним магнитным полем.

В четвертой главе рассмотрена роль квантового шума в системе микрорезонаторных экситонных поляритонов. В ней рассчитаны квантовые флуктуации квадратурных компонент, определенных для экситонной и фотонной подсистем. В условиях проявления системой бистабильных свойств исследован спектр флуктуаций как фотонной, так и экситонной компонент. На основании анализа полученных аналитических результатов автор пришел к выводу, что сильные квантовые флуктуации экситон-фотонной системы могут существенным образом изменить гистерезисные свойства системы, вызывая спонтанный переход из состояния нижней ветви петли бистабильности в состояние на верхнюю ветвь. Изучены статистические свойства экситонного поля в микрорезонаторе в условиях возбуждения когерентным лазерным излучением. Расчеты выполнены в адиабатическом приближении, когда время жизни фотонной моды много меньше времени жизни экситонной моды. Это приближение хорошо согласуется с параметрами экспериментов с полупроводниковыми микрорезонаторами. Кроме того, предсказано явление гигантской группировки экситонов при параметрах, соответствующих резкому скачку экситонной плотности при переходе с нижней ветки бистабильности на верхнюю.

Полученные автором результаты являются новыми. Они неоднократно докладывались на международных и всероссийских научных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых специализированных журналах.

Диссертация написана хорошим языком. Вместе с тем она не лишена некоторых недостатков. В заимствованных из статей рисунках не указан источник. Мне представляется, что в некоторых случаях расчеты следовало бы представить подробнее и

дать ссылки на предыдущие формулы, что облегчило знакомство с их результатами. Так, например, записано уравнение эволюции матрицы плотности (2.2), а затем сразу приведено уравнение для динамики населенностей (2.3). Следовало бы показать, как получается система уравнений (3.1)-(3.3) из первых принципов, либо сделать ссылку на первоисточник при наличии такового. Формула (3.15) выписана при указании, что величина $\Delta \gamma_p^{2/4}$ достаточно мала. Но по сравнению с чем? Тем более общее решение не приведено.

При анализе квантовых флуктуаций в главе 4 для получения стохастических дифференциальных уравнений (4.12), содержащих мультипликативный случайный источник, из уравнения Фоккера-Планка (4.11) для Р-функции автор использовал исчисление Ито. Обнаружил различие результатов полуклассического описания и последовательного квантового. Однако известно, что в случае мультипликативных флуктуаций результат применения исчисления Стратоновича отличается от применения исчисления Ито. Возможно, что полученное различие лежит в плоскости используемых исчислений.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от рецензируемой работы. Она выполнена на высоком научном уровне и по актуальному современному направлению.

Автореферат полно и адекватно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Нелинейные и неклассические эффекты с экситонными поляритонами в полупроводниковых микрорезонаторах» отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Демирчян Севак Серобович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
профессор, профессор физического
факультета Московского
государственного университета им.
М.В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы, 1,
стр. 2.
тел.: 495 939 30 93
e-mail: aschirkin@rambler.ru,
aschirkin@physics.msu.ru



Чиркин
Анатолий Степанович

Декан физического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова, профессор



Сысоев
Николай Николаевич