

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора, проф. кафедры микро- и наноэлектроники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) **Глинского Геннадия Федоровича** (адрес: 197376, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, дом 5. Тел. 234-61-34, e-mail: genaglinskii@mail.ru)

на диссертацию

Герта Антона Владимировича

«Моделирование электронных состояний и оптических процессов в кремниевых наноструктурах»,

представленную в диссертационный совет Д 002.205.02 при Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

На протяжении последних десятилетий у нас в стране и за рубежом ведутся интенсивные теоретические и экспериментальные исследования, целью которых является создание электронных приборов на основе систем пониженной размерности. К числу наиболее перспективных следует отнести приборы и устройства, использующие квантовые точки, двумерные и квазидвумерные кристаллы. На их основе предполагается создание высокоэффективных оптоэлектронных приборов, элементов памяти и быстродействующих полевых транзисторов. Так как основу современной электроники составляет кремниевая технология, то именно кремний можно рассматривать как один из перспективных материалов для разработки подобных приборов. Поэтому нет никаких сомнений, что тематика диссертационной работы Герта А.В., посвященная теоретическому исследованию кремниевых нанокристаллов и кремниевых квазидвумерных структур – силицинов, весьма **актуальна**.

Работа затрагивает широкий круг вопросов, связанных с анализом электронных состояний и оптических свойств нульмерных и квазидвумерных систем на основе кремния. Исследования включают анализ экситонных состояний и оптических переходов в нанокристаллах кремния в рамках теории, учитывающей влияние деформационного адиабатического потенциала, расчет энергетического спектра электронов в нанокристаллах и

квазидвумерных слоях методом сильной связи, теоретико-групповой анализ эффективного кр-гамильтониана силицена.

Отметим наиболее **значимые результаты**, полученные диссертантом в процессе выполнения работы:

1. Разработана модель автолокализованного на связи Si-O поверхностного экситона в нанокристалле кремния, внедренного в матрицу SiO₂.
2. Построена теория излучательных и безызлучательных переходов в нанокристаллах кремния с участием автолокализованных экситонов.
3. Предложен механизм релаксации горячих носителей заряда в нанокристаллах Si, обусловленный переходами объемного экситона в состояние автолокализованного экситона с последующей его релаксацией посредством возбуждения локальных колебаний связи Si-O.
4. В рамках метода сильной связи рассчитана плотность энергетических состояний в нанокристаллах кремния и германия.
5. Методом сильной связи в базисе $sp^3d^5s^*$ -орбиталей рассчитана зонная структура силицена. Анизотропия этого квазидвумерного кристалла учитывалась посредством введения в гамильтониан дополнительных параметров, обусловленных неэквивалентностью p_z и $p_{x,y}$ -орбиталей.
6. Методом инвариантов с учетом спина и спин-орбитального взаимодействия построен эффективный кр-гамильтониан в линейном по \mathbf{k} приближении в окрестностях дираковских точек K и K' зоны Бриллюэна силицена. Симметричный анализ проведен в пространстве, являющимся прямым произведением спинового, псевдоспинового и долинного подпространств. Из сравнения этих данных с результатами расчета методом сильной связи определены параметры эффективного гамильтониана.

Важным методическим моментом в этой части, на наш взгляд, является введение автором параметра, пропорционального смещению двух подрешеток силицена вдоль оси z , с последующим симметричным анализом соответствующего слагаемого в эффективном гамильтониане.

7. В рамках метода эффективной массы исследовано влияние электрического и магнитного полей на энергетический спектр силицена.

Большая часть представленных результатов получена автором **впервые** и, несомненно, имеет как **научное**, так и **практическое значение**.

Однако имеются следующие **замечания** по содержанию и оформлению диссертационной работы:

1. В работе ошибочно считается, что точечная группа симметрии силицена C_{3v} , а точечная группа волнового вектора точки К зоны Бриллюэна – C_3 . Однако соответствующими группами являются D_{3d} и D_3 .
2. В формулах (22) и (23) одним и тем же символом обозначаются разные функции и, наоборот, в формулах (23) и (24) одна и та же функция обозначается разными символами.
3. Вызывает удивление обозначение матричного элемента в формуле (26).
4. На стр.46 говорится о взаимодействии между атомными волновыми функциями. Однако волновые функции не материальны, поэтому взаимодействовать не могут.
5. В формуле (28) матричный элемент дипольного момента следует заменить на квадрат его модуля, при этом сама формула будет определять не скорость спонтанной рекомбинации, как это утверждает автор, а вероятность спонтанного перехода в единицу времени.
6. На стр. 67 предлагается определить заряд электрона как положительное число, при этом в формуле (33) его заряд, как и должно быть, считается отрицательным.
7. Введенная в диссертации величина Δ_z , характеризующая смещение подрешеток силицена, играет в эффективном гамильтониане роль константы метода инвариантов и одновременно является одномерной матрицей, преобразующейся в группе D_{3h} как псевдоскаляр. На наш взгляд с методической точки зрения такую матрицу следовало бы ввести изначально, а параметр Δ_z рассматривать как константу (число), не изменяющуюся при любых преобразованиях симметрии.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают общего хорошего впечатления о работе. Диссертантом проведена серьезная теоретическая работа, основные результаты которой прошли всестороннюю

апробацию на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах у нас в стране и за рубежом.

Считаю, что по актуальности темы, новизне полученных результатов, научной и практической значимости диссертация как научно-квалификационная работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, в том числе критериям II раздела Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, а ее автор, **Герт Антон Владимирович**, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Профессор кафедры
микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
доктор физико-математических наук,
профессор

Глинский Г.Ф.