

В.Г. Попов

Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН
Московский физико-технический институт (государственный университет)

Обзор по тематике 4-й Всероссийской конференции молодых ученых «Микро-, нанотехнологии и их применение»

4-я Всероссийская конференция молодых ученых «Микро-, нанотехнологии и их применение» состоялась с 22-го по 24-е ноября 2010 года в Институте проблем технологии микроэлектроники РАН в п. Черноголовка Московской области. Проблематика конференции затронула применение новых микро- и нанотехнологий для развития методов диагностики, создания новых приборов микро- и нанoeлектроники и исследования новых физических явлений в них, что актуально как с фундаментальной, так и прикладной точек зрения. В России данное направление достаточно активно развивается как в области полупроводниковых гетеро- и наноструктур, что было отражено в 22 из 58 докладов, так и в области сверхпроводниковых структур (12 докладов). Необходимо отметить, что были представлены и новые наноматериалы, такие как нанотрубки, ZnO наностержни, графен, метаматериалы, фотонные резонаторы и кристаллы. Кроме того, значительное число работ посвящено методам сканирующей микроскопии. Таким образом, условно доклады можно разделить по следующим группам:

I. Полупроводниковые наноструктуры

Фундаментальные исследования в этой области представлены в докладах, рассматривающих коллективные эффекты и эффекты локализации в двумерных системах носителей или наноструктурах, созданных на их основе. Необходимо отметить, что уровень докладов достаточно высок и отражает современную проблематику в данной области. Были затронуты вопросы о скачках химпотенциала двумерной системы электронного газа (ДЭГ) в режиме дробного квантового эффекта Холла (ДКЭХ), которые удалось описать в модели композитных фермионов (см. с. 35 Тезисов [1]). Исследование дробового шума в локализованной двумерной системе, показало, что шум в ней определяется активацией электронов в делокализованные состояния (см. с. 30 в [1]). При исследовании туннелирования между ДЭГ в квантующих магнитных полях были получены новые данные по температурным зависимостям таких энергетических параметров, как кулоновская псевдощель и спиновое расщепление уровней Ландау (см. с. 26 в [1]). Оказалось, что спиновое расщепление УЛ увеличивается при увеличении температуры, в то время как псевдощель не зависит от температуры в слабых магнитных полях. В сильных же полях, когда циклотронная энергия превышает межподзонное расщепление, спиновое расщепление резко уменьшается, а температурную зависимость приобретает псевдощель, которая увеличивается при понижении температуры. При исследовании намагниченности δ -слоя Mn в гетероструктурах с квантовыми ямами был обнаружен различный характер намагниченности в зависимости от ориентации подложки (см. с. 34 [1]). В частности, показано, что на вицинальных плоскостях формируется неупорядоченный ферромагнетик перколяционного типа.

Из прикладных работ представлены результаты по исследованию и созданию лазеров с резонатором в виде фотонного кристалла с дефектом. Мода, локализованная в области дефекта, более открыта при том же малом модовом объеме, что способствует более эффективному выводу излучения (см. с. 48 Тезисов [1]). Представлены результаты исследований излучения квантовых каскадных лазеров на частоте 2,6 ТГц. Была показана возможность постройки частоты излучения при изменении температуры лазера. Проведены исследования циклотронного резонанса в квантовых ямах HgCdTe (см. с. 24 Тезисов [1]). Значительное внимание уделяется исследованию релаксации неравновесных носителей в наноструктурах, при этом неравновесность может создаваться как приложением электрического поля (см. доклад на с. 50 в [1]), фотовозбуждением (см. доклад на с. 13 в [1]), возбуждением электронным пучком (см. доклад на с. 52 в [1]).

II. Сверхпроводниковые наноструктуры

Значительное количество докладов было посвящено сверхпроводниковым наноструктурам. Из них большинство рассматривало различные реализации сверхпроводникового детектора одиночных фотонов. В основе принципа работы детектора лежит уникальная чувствительность сверхпроводника при протекании через него тока, близкому к критическому. Необходимо отметить, что в таком состоянии сверхпроводник чувствителен не только к фотонам ну и к любым токовым флуктуациям в системе, поэтому его использование остается под вопросом и требует тщательного исследования (см. с. 53–55 Тезисов [1]). В докладе на странице 37 [1] представлены результаты исследований сверхпроводящего СВЧ-смесителя, принцип действия которого основан на нелинейности сопротивления пленки при критической температуре. Кроме прикладных аспектов были доклады, рассматривающие фундаментальные вопросы.

Теоретически исследована температурная зависимость параметра порядка в сверхпроводниках с межзонным характером спаривания носителей. Рассчитана ВАХ SN-контакта. (см. с. 42 Тезисов [1]).

Теоретически исследованы ВАХ контактов сверхпроводник-изолятор-ферромагнетик-изолятор-сверхпроводник, в подобных структурах реализуются так называемые π -контакты, перспективные для использования в квантовых вычислениях (см. с. 44 Тезисов [1]).

Условие возникновения «молекул» из двух вихрей Абрикосова в анизотропных сверхпроводниках второго рода исследовалось в докладе на с. 28 [1].

Задача о проскальзывании фазы в нанопроволоке рассмотрена теоретически в широком температурном диапазоне. Получены величины скачка свободной энергии от тока (см. с. 77 Тезисов [1]).

Среди докладов по этой тематике хотелось бы отметить высокий уровень теоретических фундаментальных исследований и явно недостаточное их подкрепление экспериментальными работами, и наоборот. По-видимому, это объясняется недостаточным финансированием экспериментальных исследований, что затрудняет привлечение теоретиков к задачам, связанным с экспериментом.

III. Нанотехнологии и зондовая микроскопия

Несмотря на явно прикладной характер тематики, нужно понимать, что современные фундаментальные исследования в области физики конденсированного состояния не обходятся без нанотехнологий и вносят свои изменения в эти технологии.

В работе на странице 15 в [1] описана конструкция наноманипулятора или нанопинцета, созданного на основе биметаллического покрытия, в состав которого входит сплав титана. При нагреве этого сплава до 56°C возникает фазовый переход с изменением параметра решетки, что приводит к деформации сплава или зажиму пинцета. Нагрев осуществлялся лазером.

В докладе на странице 59 описана и теоретически рассчитана модель ячеистого фильтра для фотолитографии, который представляет собой фотонный кристалл.

Ранее для исследования молекул ДНК на них наносили металл для исследования их структуры в электронном микроскопе, а теперь эти молекулы используются для создания металлических нанопроволок (см. с. 41 Тезисов [1]).

Три доклада были посвящены методике осаждения из газовой фазы, развитой в ИПТМ. Метод позволяет осаждать такие объекты, как углеродные нанотрубки, ZnO наностержни. Недавно были получены тонкие пленки графита для последующего выделения графена (см. доклады на страницах 13, 63, 64 [1]).

Основной технологией получения графена является механическое расщепление слоев графита. В докладе на странице 23 в [1] предложена технология плазменного расщепления графена. Технология эта хороша своей контролируемостью в отличие от механического отщепления с использованием адгезионных лент.

Значительное количество докладов было посвящено локальным методам исследования поверхности твердых тел. Наиболее интересен доклад об исследовании поверхностной проводимости при различных реконструкциях поверхности системы (Au, In) — Si (111) (см. с. 36 Тезисов [1]). Реконструкции наблюдались с помощью туннельного микроскопа и дифракции медленных электронов при напылении тонких пленок Au и In различной толщины порядка нескольких монослоев с последующим отжигом. Одновременно с исследованием поверхности производились измерения проводимости системы. Проводимость заметно менялась при реконструкции поверхности, увеличиваясь при однородных реконструкциях и уменьшаясь при неоднородных.

Необходимо отметить, что зондовые методики активно развиваются на сегодняшний день, создаются новые методики, реализуются способы работы при низких температурах. Так, в докладе на странице 17 в [1] описывается новое устройство грубого подвода зонда оптического микроскопа ближнего поля, позволяющее подводить зонд в криогенных условиях.

В докладе на странице 18 [1] рассказывается об исследовании поверхности пьезокерамики с аппаратной коррекцией перекрестного влияния сигналов латеральных и вертикальных колебаний кантилевера.

Для исследования поверхностной абсорбции предложен оригинальный зондовый микроскоп, сочетающий атомарно-силовой микроскоп и микровесы (см. с. 22 Тезисов [1]). При этом микровесы представляют собой кварцевый микрорезонатор с нанесенным абсорбентом и позволяют измерять изменение массы поглощаемого газа при одновременном определении профиля поверхности.

И последнее, что можно отнести к развитию технологии, это рентгеновская оптика. В работе конференции представлено 3 доклада по данной тематике. Особенностью построения оптических элементов в рентгеновском диапазоне является слабое отличие показателей преломления от 1 и сильное поглощение в материалах. Однако применение микро- и нанотехнологий позволяет создание линз, фазовых пластинок, а также использование методов фазового контраста, таких, например, как метод Цернике (см. с. 80 Тезисов [1]). Создание брэг-френелевской зонной пластинки было предложено в докладе на странице 82 в [1]. Коллиматоры двух типов рассмотрены в докладе на странице 85 в [1].

Подводя итоги, можно сказать, что уровень работ молодых ученых, принявших участие в работе конференции, весьма высок, причем их вклад в работы является, как правило, основным, что говорит об активности молодых ученых в целом.

В разделе «Физика, электроника и нанотехнологии» настоящего номера журнала публикуются научные статьи, предоставленные авторами соответствующих докладов конференции.

Литература

1. Тезисы докладов 4-й Всероссийской конференции молодых ученых «Микро-, нанотехнологии и их применение», ИПТМ РАН, Черноголовка, 22–24 ноября 2010 (<http://purple.iptm.ru/sci-conf/text/tezis.pdf>).