

УДК 621.315.592

## Об итогах 12-й Российской конференции по физике полупроводников (Ершово, Звенигород, Москва, 20–25 сентября 2015 г.)

© Д.Р. Хохлов\*+

\*Физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия

+Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 Москва, Россия

E-mail: khokhlov@mig.phys.msu.ru

(Получена 24 ноября 2015 г. Принята к печати 30 ноября 2015 г.)

Представлены итоги 12-й Российской конференции по физике полупроводников (РКФП-12), состоявшейся 20–25 сентября 2015 года в пансионате „Ершово“ близ г. Звенигород, Московская область. Приведена статистика докладов по секциям, анализируются тенденции изменения интересов исследований по сравнению с предыдущей, 11-й Российской конференцией по физике полупроводников, состоявшейся в 2013 году в Санкт-Петербурге, а также по сравнению с 32-й Международной конференцией по физике полупроводников, проводившейся в 2014 г. в Остине (Техас, США). Обозначены основные особенности нынешней конференции, приведены наиболее интересные, с точки зрения автора, направления исследований.

Программный комитет 12-й Российской конференции по физике полупроводников (РКФП-12), состоявшейся в пансионате „Ершово“ под Звенигородом, Московская область, 20–25 сентября 2015 г., дал поручение автору настоящей заметки подвести итоги конференции, как они ему видятся. Поэтому все приведенные наблюдения и выводы являются субъективной точкой зрения и не претендуют на абсолютную полноту охвата и „истину в последней инстанции“.

Рассмотрим сначала некоторую статистику. На конференции принимались доклады в рамках 14 тематических секций.

1. Объемные полупроводники: электрические и оптические свойства, релаксация носителей заряда, сверхбыстрые явления, экситоны, фононы, фазовые переходы, упорядочение.

2. Поверхность, пленки, слои: эпитаксия, атомная и электронная структура поверхности, адсорбция и поверхностные реакции, процессы формирования (самоорганизации) нанокластеров, СТМ и АСМ, оптическая микроскопия ближнего поля.

3. Гетероструктуры и сверхрешетки: структурные и оптические свойства, электронный транспорт, микрорезонаторы.

4. Двумерные системы: структурные, электронные, магнитные и оптические свойства, туннелирование, локализация, фононы, плазмоны, квантовый эффект Холла, корреляционные эффекты.

5. Одномерные и нуль-мерные системы: энергетический спектр, электронный транспорт, оптические свойства, локализация.

6. Спиновые явления, спинтроника, наномagnetизм.

7. Примеси и дефекты (объемные полупроводники и квантово-размерные структуры): примеси с мелкими и

глубокими уровнями, магнитные примеси, структурные дефекты, неупорядоченные полупроводники.

8. Высокочастотные явления в полупроводниках (СВЧ и терагерцовый диапазон).

9. Органические полупроводники, молекулярные системы.

10. Углеродные наноматериалы.

11. Метаматериалы и фотонные кристаллы. Нанофотоника.

12. Полупроводниковые приборы и устройства: технология, методы исследования, наноприборы.

13. Наномеханика.

14. Топологические изоляторы.

Количество принятых докладов по секциям распределилось следующим образом (см. табл. 1).

Тематика секций не изменилась по сравнению с конференцией, проводившейся 2 года назад в Санкт-Петербурге, поэтому можно оценить смещение интересов в исследованиях за прошедшие два года. Поскольку абсолютное число докладов на конференции в Санкт-Петербурге было заметно выше, то имеет смысл сравнивать относительное количество докладов по каждой секции. Результаты сравнения приведены на рис. 1.

Обращают на себя внимание несколько особенностей.

1) Самое резкое увеличение процента докладов произошло в секции 14 — Топологические изоляторы. Это, видимо, связано с общим бумом по данной тематике, обусловленным модностью этого направления. Следует отметить, однако, что особенных прорывов по этой теме в последнее время не зафиксировано, поэтому есть основания полагать, что в дальнейшем интерес к этой проблематике будет снижаться.

2) Резко возрос процент докладов по секции 4 — Двумерные системы: структурные, электронные, маг-

Таблица 1. Количество сделанных на конференции докладов по секциям

№	Название	Пригл.	Устн.	Стенд	Сумма
1	Объемные полупроводники	2	4	23	29
2	Поверхность, пленки, слои	3	9	40	52
3	Гетероструктуры и сверхрешетки	4	13	25	42
4	Двумерные системы	5	14	28	47
5	Одномерные и нульмерные системы	3	6	27	36
6	Спиновые явления, спинтроника, наноматнегнетизм	2	9	21	32
7	Примеси и дефекты (объемные полупроводники и квантово-размерные структуры)	0	2	20	22
8	Высоочастотные явления в полупроводниках (СВЧ и терагерцовый диапазон)	1	6	4	11
9	Органические полупроводники, молекулярные системы	1	3	7	11
10	Углеродные наноматериалы	1	4	10	15
11	Метаматериалы и фотонные кристаллы. Нанопотоника	2	4	7	13
12	Полупроводниковые приборы и устройства	2	8	34	44
13	Наномеханика	1	1	3	5
14	Топологические изоляторы	2	7	16	25
Итого		29	90	265	384

нитные и оптические свойства, туннелирование, локализация, фононы, плазмоны, квантовый эффект Холла, корреляционные эффекты. По всей видимости, такое возрастание обусловлено особой ролью многоэлектронных эффектов в системах с пониженной размерностью, которые приводят в некоторых случаях к неожиданным результатам.

3) Наблюдается значительное падение процента докладов по секции 7 — Примеси и дефекты (объемные полупроводники и квантово-размерные структуры) — более чем в 2 раза.

4) Произошло достаточно сильное снижение процента докладов по секциям 5 — Спиновые явления, спинтроника, наноматнегнетизм и 12 — Полупроводниковые приборы и устройства. Видимо, некоторым „демотивато-

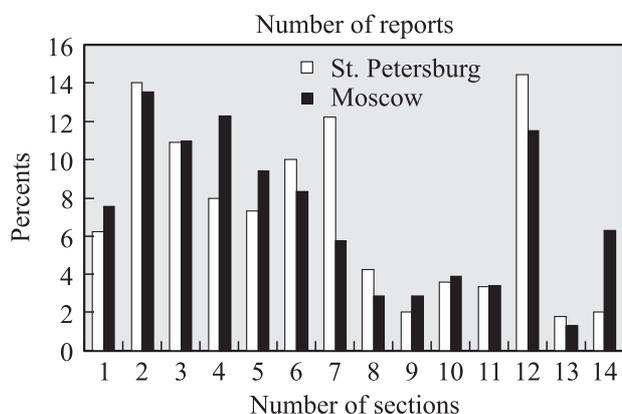


Рис. 1. Процент сделанных докладов по секциям на 11 и 12 Российских конференциях по физике полупроводников.

ром“ для первой из этих областей является отсутствие ярких достижений в последнее время.

5) Малое количество докладов по секции 9 — Органические полупроводники, молекулярные системы, по всей видимости, обусловлено точным пересечением по срокам со специализированной конференцией по органическим полупроводникам, состоявшейся также недалеко от Звенигорода. Вообще говоря, в мире и в России данная тематика очень востребована, однако сообщество, занимающееся органическими полупроводниками, слабо связано с „классическим“ полупроводниковым сообществом. Причины этого, видимо, в том, что исторически этой тематикой больше занимались химики. Даже терминологическое описание явлений в данной области производится на языке атомных орбиталей, а не энергетических зон.

Представляется важным сравнить популярность различных тематик в российском сообществе и на международном уровне. Предметом для такого сравнения может послужить 32 Международная конференция по физике полупроводников (ICPS-32), состоявшаяся в Остине (США) в 2014 году. Тематические рубрики на РКФП-12 и ICPS-32 несколько различались, соответствующие данные приведены в табл. 2.

Соответствие по секциям 5, 7, 8 и 13 отсутствует, эти секции поставлены в таблице друг напротив друга для возможности приведения данных на одном рисунке. Кроме того, по смыслу соответствие тем 1 и 2 достаточно условное. Тем не менее даже с учетом вышесказанного можно сделать определенные выводы (рис. 2).

1) На обеих конференциях особое внимание уделялось тематикам, связанным с физикой двумерных систем и с топологическими изоляторами.

**Таблица 2.** Сопоставление тематических рубрик на РКФП-12 и ICPS-32

№	РКФП-12	ICPS-32
1	Объемные полупроводники	Material structure
2	Поверхность, пленки, слои	2-D systems beyond graphene
3	Гетероструктуры и сверхрешетки	Optical properties of heterostructures
4	Двумерные системы	Transport in heterostructures, Quantum Hall effects
5	Одномерные и нульмерные системы	Complex oxides
6	Спиновые явления, спинтроника, наномagnetизм	Spintronics and spin phenomena
7	Примеси и дефекты	Quantum information
8	Высокочастотные явления в полупроводниках	Computational methods
9	Органические полупроводники, молекулярные системы	Organic semiconductors
10	Углеродные наноматериалы	Carbon: nanotubes and graphene
11	Метаматериалы и фотонные кристаллы. Нанопотоника	Quantum optics, nanophotonics
12	Полупроводниковые приборы и устройства	Electron devices and applications
13	Наномеханика	Wide band gap, Narrow gap semiconductors
14	Топологические изоляторы	Topological insulators

2) В отличие от ICPS-32, на РКФП-12 слабо представлены тематики, связанные с углеродными наноматериалами, а также с нанопотоникой и квантовой оптикой. Этот аспект представляется явной недоработкой в информационном обеспечении конференции, особенно учитывая, что в России есть сильные группы и давние традиции по обеим тематикам, а в конференции имеются соответствующие секции.

3) Кроме того, на российской конференции отсутствуют тематики по квантовой информатике, вычислительным методам, а также отдельные секции по узкозонным и широкозонным полупроводникам. Если последние две тематики так или иначе были инкорпорированы в другие секции, то отсутствие отдельной секции по вычислительным методам представляется явной недоработкой. Тема квантовой информатики была представлена на предыдущей, 11 конференции по физике полупроводников, в пленарном докладе М.И. Дьяконова. Выводы в докладе были сделаны неутешительные, возможно, это явилось определенным „демотиватором“. Тем не менее видно, что на международном уровне эта тематика востребована.

4) В РКФП-12 в отличие от ICPS-32 есть отдельные секции по одномерным и нуль-мерным системам, а также по высокочастотным явлениям. Представляется, что такое выделение является оправданным, хотя количество докладов по секции высокочастотных явлений невелико. Вероятно, это также является недоработкой в информационном обеспечении конференции, поскольку многие группы в России работают в данной области.

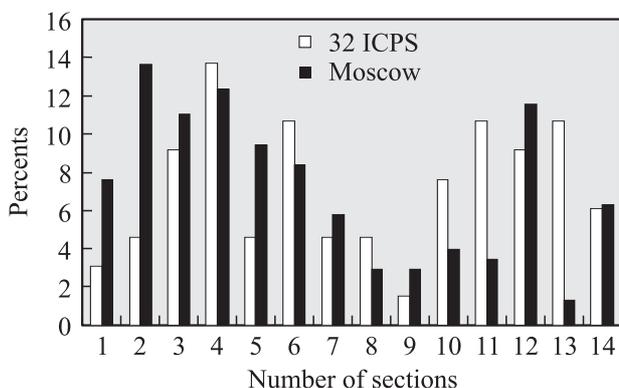
Резюмируя итоги сравнения тематик конференций, напрашивается вывод о том, что в целом развитие российской физики полупроводников идет в русле общемирового, но имеются определенные отклонения. По всей вероятности, необходимо создавать новые секции или приглашать докладчиков по недостающим тематикам.

Переходя к самой конференции, обращают на себя внимание несколько важных тенденций.

1) В отличие от 11-й РКФП и особенно 10-й РКФП, проводившейся в Нижнем Новгороде в 2011 году, обращает на себя внимание „замывание“ возрастной щели. В 2011 году практически отсутствовали докладчики в возрасте около 40 лет, в то время как на международном уровне ученые именно этого возраста „задают тон“. За прошедшие с 2011 г. четыре года в российском полупроводниковом сообществе очень вырос уровень тогдашних 30–35-летних ученых, которые остались в науке и сейчас фактически определяют будущее российской физики полупроводников. Если в 2011 году имела определенная тревога за перспективы развития физики полупроводников в России, то сейчас эта тревога сильно уменьшилась.

2) Сразу несколько групп из различных институтов представили на конференции серии очень сильных докладов молодых ученых. Особенно следует отметить в этом отношении ИФТТ РАН, ФТИ РАН, ИРЭ РАН. Видно, что имеются „центры роста“, ведущие работы на самом высоком международном уровне.

3) Необходимо обратить внимание на абсолютных чемпионов по количеству представленных докладов на

**Рис. 2.** Процент сделанных докладов по секциям на РКФП-12 и ICPS-32.

конференции. Сотрудники ИФП СО РАН С.А. Дворецкий и Н.Н. Михайлов являются соавторами 25 докладов, и это абсолютно заслуженное достижение. Разработанные в ИФП СО РАН технологии создания полупроводниковых систем на основе сплавов кадмий-ртуть-теллур позволяют синтезировать уникальные по своим свойствам структуры, которые разошлись по всему миру и используются в исследованиях самого высокого уровня.

Хотелось бы выделить некоторые из представленных на конференции результатов, хотя необходимо оговориться, что это чисто субъективное впечатление, которое к тому же искажено тем обстоятельством, что автор обзора не имел возможности присутствовать на всех докладах.

К числу таких интересных и неожиданных для автора обзора результатов следует отнести работу, представленную сотрудником ИФПТ РАН А.В. Щепетильниковым, о возможности спиновой поляризации в гетероструктурах ZnO/MgZnO при четных факторах заполнения на основе анализа данных ЭПР, а также работу, представленную сотрудником ИФП СО РАН З.Д. Квоном и выполненную в сотрудничестве ИФП СО РАН, ФТИ РАН и университета Регенсбурга, об осцилляциях магнитопроводимости, индуцированных терагерцовым излучением.

Помимо положительных, существуют и некоторые отрицательные для автора обзора итоги конференции. С сожалением следует констатировать, что по-прежнему много усилий очень квалифицированных ученых тратится на уточнение параметров используемых моделей, в то время как очевидна ограниченность самой возможности применения этих моделей. Например, многие из представленных на конференции работ используют одноэлектронное приближение. Это приближение зачастую является достаточным, однако достаточно часто необходимо учитывать корреляционные и многоэлектронные эффекты.

Примером важности учета многоэлектронных эффектов являются результаты по бозе-эйнштейновскому конденсату экситонов, по спиновой поляризации двумерных электронов, а также, возможно, по „зудовским“ осцилляциям магнитосопротивления при терагерцовом возбуждении.

Помимо физики, связанной с многоэлектронными эффектами, имеет смысл обратить внимание на физику интерфейсов. Очевидно, что приближение эффективной массы и  $k$ -метод перестают хорошо работать вблизи интерфейсов, поэтому необходимы другие подходы и способы описания наблюдаемых явлений. Характерным примером важности этого направления является физика топологических изоляторов.

Подводя итоги вышеизложенному, можно констатировать, что российская физика полупроводников испытывает в настоящее время устойчивое развитие и следует в целом в русле общемировых тенденций, но имеет ряд специфических особенностей, которые в ряде случаев определяют мировой уровень.

Редактор Г.А. Оганесян

## On outcomes of the 12 Russian Conference on the Physics of Semiconductors (Ershovo, Zvenigorod, Moscow, September, 20–25, 2015)

*D.R. Khokhlov*

\*Lomonosov Moscow State University,  
119991 Moscow, Russia  
+Lebedev Physical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
119991 Moscow, Russia

**Abstract** The paper represents outcomes of the 12 Russian Conference on the Physics of Semiconductors held on September, 20–25, 2015, in the „Ershovo“ hotel near Zvenigorod, Moscow District. Statistics of talks by sections is summarized in comparison with the previous 11 Russian Conference on the Physics of Semiconductors held in 2013 in Saint-Petersburg, and with the 32 International Conference on the Physics of Semiconductors held in 2014 in Austin, Texas, USA. The main features of the present conference are identified, the most interesting (from the author's point of view) directions of research are presented.