

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

43-й Международный симпозиум по полевой эмиссии

(Москва, 14–19 июля 1996 г.)

PACS number: 01.10.Fv

Международные симпозиумы по полевой эмиссии проводятся ежегодно (за исключением двух лет), начиная с 1952 г. Местом проведения предыдущих сорока двух из них были без исключения западные страны; и только в 1996 г. такой симпозиум был проведен в России, в Москве.

Эти симпозиумы — чрезвычайно престижные научные форумы, собирающие, как правило, специалистов из большинства наиболее развитых стран мира.

Организацию и проведение Московского симпозиума осуществлял Государственный научный центр Российской Федерации "Институт теоретической и экспериментальной физики" (ИТЭФ) и учрежденная им вместе с рядом других институтов Ассоциация "Ультрамикроскопия в науке и технологии". Сопредседателями Организационного комитета Симпозиума были проф. Р.З. Бахтизин (Башкирский государственный университет, Уфа) и проф. А.Л. Суворов (ИТЭФ, Москва). В состав Оргкомитета входили директор ИТЭФ проф. И.В. Чувило, директор Института радиотехники и электроники РАН, член Президиума РАН, академик Ю.В. Гуляев, такие ведущие отечественные специалисты в областях, связанных с тематикой Симпозиума, как проф. Г.Н. Фурсей (Государственный университет телекоммуникаций, Санкт-Петербург), проф. В.Н. Шредник (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург), проф. Е.И. Гиваргизов (Институт кристаллографии РАН, Москва), д-р Е.П. Шешин (Московский физико-технический институт), проф. Н.Н. Сюткин и проф. В.А. Ивченко (Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург).

Симпозиум проводился в живописном месте на окраине Москвы, в гостинице "Узкое" управления делами РАН.

В качестве основных спонсоров Симпозиума выступили Московское правительство (мэр Москвы Ю.М. Лужков направил теплое приветствие участникам Симпозиума) и Российский фонд фундаментальных исследований. Среди спонсоров были также Московское физическое общество, Центр анализа вещества. Симпозиум проводился под эгидой Международного общества по полевой эмиссии (президент — д-р М. Миллер, Ок-Риджская национальная лаборатория, США).

В работе симпозиума приняли участие 120 специалистов из 16 стран, в том числе 55 из России. Было прочитано 12 заказных лекций, сделано 40 устных

(пленарных) докладов, представлено более 100 стендовых докладов.

Тематика таких симпозиумов связана прежде всего с изучением физики четырех квантовомеханических процессов, имеющих место в электрических полях напряженностью $10^6 - 10^9$ В см⁻¹:

— автоэлектронной эмиссии (туннелирование электронов из электропроводящих материалов сквозь запирающий их измененный полем потенциальный барьер);

— автоионизации нейтральных атомов и молекул в газах (реализуется также за счет туннельного эффекта);

— десорбции полем (удаление с поверхности твердых тел инородных веществ по механизму атомного и ионного туннелирования);

— испарения полем (удаления с поверхности твердых тел собственных атомов в виде ионов без термической активации).

Как известно, на основе этих процессов были созданы такие оригинальные микроскопы и методики, как:

— автоэлектронный микроскоп (создан Э. Мюллером в 1937 г., позволяет изучать эмиссионные свойства поверхности, адсорбцию и десорбцию инородных частиц и их поверхностную миграцию, измерять работу выхода электронов как в среднем по поверхности, так и для отдельных кристаллографических граней);

— автоионный микроскоп (создан Э. Мюллером в 1951 г., впервые позволил увидеть отдельные атомы, прекрасный прибор для изучения разнообразных поверхностных эффектов на атомарном уровне, исследования образования и поведения дефектов кристаллической структуры материалов);

— атомный зонд (также создан Э. Мюллером, в 1968 г., прибор, объединяющий автоионный микроскоп и чрезвычайно чувствительный масс-спектрометр, позволяет определять химическую природу выбранных по микроскопическому изображению отдельных частиц и их небольших комплексов);

— сканирующий туннельный микроскоп (создан Г. Биннигом и Х. Рорером в 1982 г., Нобелевская премия по физике 1986 г., дает атомарное разрешение, позволяет реализовать технологии в атомных масштабах, конструировать из отдельных атомов заданные композиции и т.п.).

Значительную часть в тематике симпозиумов по полевой эмиссии занимает развитие и применение указанных ультрамикроскопических методов, разработка и создание "полевых" электронных и ионных источников.

Ввиду относительно небольшого количества участников (впрочем, традиционного для таких встреч) на Симпозиуме проводились только пленарные заседания, причем каждое заседание-сессия было тематическим. Всего было проведено 25 заседаний по 10 направлениям (тематикам).

Одна сессия проведена по теме "Полевая эмиссия. Теория и процессы". Были представлены оригинальные доклады, связанные с распространением теории автоэлектронной эмиссии на ряд конкретных практических задач: эмиссии из алмазов (П. Катлер, Пенсильванский государственный университет, США и др.), генерирование этого процесса импульсным лазером (М. Хагманн, Международный университет Флориды, США и др.). Значительный интерес вызвал доклад Ф.И. Далидчика (Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва) с соавторами, рассмотревший возможность и специфику двухэлектронных эффектов в туннелировании.

Четыре заседания было посвящено теме "Автоэлектронная эмиссия и микроскопия". Здесь прежде всего заслуживают внимания прекрасно представленные две заказные лекции. Первая (А. Тономура, Лаборатория Хитачи, Сайтама, Япония) была посвящена изложению уникальных экспериментальных данных, полученных с помощью разработанного и созданного возглавляемым автором лекции коллективом голографического электронного микроскопа. Использование супероригинальной техники впервые позволило получить изображения индивидуальных вихрей (фактически "сгустков" магнитных силовых линий) в пленках сверхпроводящего ниобия, изучить их динамику. Вторая лекция (А.Г. Наумовец, Институт физики НАНУ, Киев) показала, что несмотря на уже полученные с помощью автоэлектронной и автоионной микроскопии многочисленные результаты, связанные с процессом поверхностной диффузии, возможности этих методик здесь далеко не исчерпаны. Значительный интерес представил обзорный доклад (Г.Н. Фурсей и др., Государственный университет телекоммуникаций, Санкт-Петербург), отражающий многие оригинальные результаты авторов по экспериментальному и теоретическому изучению процессов автоэлектронной эмиссии с поверхности жидких металлов. Следует отметить и доклад А.Н. Степановой с соавторами (Институт кристаллографии РАН, Москва), излагающий оригинальные методы изготовления и результаты тестирования автоэммиттеров из алмазных частиц, размещенных на вершинах острий из кремния.

Одно из заседаний было посвящено рассмотрению результатов исследования поверхностных явлений — адсорбции и десорбции индивидуальных атомов (О. Нишикава и др., Технологический институт, Ишикава, Япония), динамики формирования пленок (Т. Цонг и Т.-Я.Фу, Институт физики, Тайпей, Тайвань), поверхностной ионизации (Р. Форбс, Университет Суррея, Англия). Значительный интерес вызвал доклад Дж. Яа с соавторами (Тохоку университет, Сендай, Япония), применивших для изучения образования и поведения пленок золота на меди созданный ими оригинальный прибор, объединяющий автоионный и сканирующий туннельный микроскопы.

Большое количество докладов на Симпозиуме было посвящено развитию техники атомно-зондовой автоионной микроскопии, ее использованию при решении мате-

риаловедческих проблем. Оригинальные результаты, связанные с исследованиями указанным методом высокотемпературных сверхпроводников, представил в заказной лекции Х.-О. Андрен (Чалмерский технологический университет, Гетеборг, Швеция). Еще одна заказная лекция (К. Хоно и др., Национальный исследовательский институт металлов, Цукуба, Япония) была посвящена изучению процессов нанокристаллизации и переохлажденному жидкофазному состоянию ряда аморфных сплавов. Значительное внимание в докладах указанной тематики было уделено собственно развитию методики (например, А. Церезо и др., Оксфордский университет, Англия; П. Кэймус и др., Висконсинский университет, Мэдисон, США). Предоставляющая прекрасные возможности методика автоионного микроскопа — атомного зонда по-прежнему с успехом используется для исследования структурно-фазовых превращений в конструкционных сплавах, сталях (чрезвычайно информативная заказная лекция Д. Блаветта, Руанский университет, Франция; доклады В.А. Ивченко и С.И. Парамонова, Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия; Р. Томсон и др., Лобороугский университет, Англия и т.п.).

Не меньшее внимание на Симпозиуме было уделено и сканирующей туннельной микроскопии. Хотя здесь следует отметить, что этой, относительно молодой методике в мире посвящаются и другие весьма известные и престижные научные форумы такие, как Международные конференции по сканирующей туннельной микроскопии, Международные конференции по нанотехнологиям "Нано" и др. Это вызывает определенные трудности у организаторов Симпозиумов по полевой эмиссии: с одной стороны, обойти на них такую "родную для полевых методов" методику просто невозможно, с другой стороны сделать на этой методике преобладающий акцент нелогично. Указанной тематике были посвящены три заказные лекции, последовательно рассмотревшие теорию электронных и атомных процессов в зондовой сканирующей микроскопии (М. Цукада, Университет Токио, Япония), экстраординарный рост пленок углерода-60 по специально ориентированной поверхности арсенида галлия (Т. Сакурай с соавторами, Тохоку университет, Япония), специфику устройства и работы сканирующего туннельного микроскопа оригинальной конструкции (Я. Кук, Сеульский национальный университет, Корея). Анализируя доклады по этой тематике, можно заключить, что основным направлением научного использования сканирующей туннельной микроскопии на сегодняшний день остается изучение атомной структуры и динамики поверхностного слоя кристаллов, включая и одноатомные пленки одних веществ на кристаллической поверхности других (Д. Джеон и др., Мюнх-Джи университет, Сеул, Корея; В.Ю. Юров и др., Институт общей физики РАН, Москва, Россия; О. Такаока и др., Тохоку университет, Сендай, Япония).

Три специальных заседания Симпозиума были посвящены памяти скончавшегося в 1995 г. профессора Й. Блока (Институт Фрица-Хабера, Берлин, Германия). Профессор Й. Блок внес неоценимый вклад в науку о поверхности, получил многочисленные оригинальные результаты, связанные с физико-химией поверхности, основал хорошо известную в мире научную школу, активно участвовал в деятельности Международного

общества по полевой эмиссии, способствовал повышению его престижа. Многие молодые российские ученые, так же как ученые из бывшего СССР и нынешних стран СНГ, других стран имели возможность работать в Лаборатории Й. Блока в Институте Фрица-Хабера в Берлине, прошли там прекрасную школу. И именно ученики профессора Й. Блока из разных стран (Н. Эрнст, В. Драсел, Институт Фрица-Хабера, Берлин, Германия; Н. Круз, Брюссельский университет, Бельгия; Ф. Роллген, Боннский университет, Германия; В.В. Городецкий и др., Институт катализа, Новосибирск, Россия; В.К. Медведев, Институт физики УНАН, Киев, Украина), а также его друзья-коллеги (Р. Форбс, Университет Суррея, Англия; Т. Цонг, Институт физики, Тайпей, Тайвань; В.Н. Шредник, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия) рассказали о результатах своих работ, так или иначе связанных с тематикой исследований, проводимых или инициированных Й. Блоком.

С 1978 г., спустя год после кончины в 1977 г. создателя автоэлектронной и автоионной микроскопии, атомного зонда, человека, впервые увидевшего атом — профессора Э. Мюллера, на Симпозиумах стала вручаться медаль Э. Мюллера за лучшие работы молодых ученых. Два специальных заседания были посвящены на Московском симпозиуме докладом претендентов на эту медаль. Медаль Э. Мюллера 1996 года была присуждена сотруднику Института материаловедческих исследований Тохоку университета в Сендае (Япония) Л. Ли за результаты исследования реконструкции поверхности 6N-SiC при обогащении кремнием в автоионном сканирующем туннельном микроскопе. Похожая работа была представлена О. Шуе, выполнившим ее в той же лаборатории и на том же приборе. Среди работ молодых ученых нам хочется отметить интересные автоэмиссионно-спектроскопические исследования высокотемпературных сверхпроводящих монокристаллов Y-Ba-Cu-O при температурах ниже и выше сверхпроводящего перехода (С.Н. Иванов, Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия).

В соответствии с программой Симпозиума были проведены три сессии стендовых докладов, хотя, строго говоря, обсуждение всех представленных здесь докладов проходило непрерывно, так как все доклады были вывешены на стенды в первый день и сняты после закрытия Симпозиума. Не имея возможности привести в этом сообщении даже краткий обзор стендовых докладов, отметим лишь то, что в целом они отражают тенденции, вытекающие из анализа устных докладов и заказных лекций. По-прежнему в использовании автоионной микроскопии (с атомным зондом и без него) превалирует материаловедческий аспект. И так же как и в последние годы, большинство исследований, выполненных с помощью сканирующей туннельной микроскопии, связано с физикой (точнее даже — со структурой и динамикой) поверхности твердых тел. Целая серия весьма интересных докладов была связана с разработкой и созданием одно- и многоострийных источников электронов на основе автоэлектронной эмиссии различных материалов. Описано использование для этих целей новых технологий. Ряд докладов был посвящен рассмотрению параметров и возможностей созданных авторами оригинальных приборов и методик. Кроме того, была представлена серия докладов, анализирующих и разви-

вающих различные теоретические аспекты как самих квантовомеханических процессов в сильных электрических полях, так и основанных на них методик и приборов. Наконец, тематика нескольких докладов была связана с компьютерным моделированием указанных процессов, расчетом изображений, получаемых в "полевых" микроскопах. На Симпозиуме традиционно был отмечен специальным призом лучший стендовый доклад. По решению Управляющего комитета Международного общества по полевой эмиссии таковым был признан доклад Н. Эрнста с соавторами (Институт Фрица-Хабера, Берлин, Германия), посвященный приложению микрозондовых анализов (так называемой техники пробного отверстия) в автоэлектронной и автоионной микроскопии для изучения поверхностных реакций.

Значительный интерес у участников Симпозиума вызвала тема заключительной сессии: "Проблемы реализации Российских высоких технологий и аналитических услуг". А.Б. Данилин (Центр анализа вещества, Москва, Россия) в чрезвычайно интересной и живой форме рассмотрел различие в социально-психологических причинах (движущих силах) научной активности в России и западных странах, дал весьма оригинальную оценку ее результатов. В докладе А. Турмена (Денвер, США) на примере деятельности в России и США Ассоциации "Денвер–Москва" проанализирован сложный путь от технологической идеи до коммерческой реализации.

Во время работы Симпозиума были избраны два новых члена (д-р Р. Форбс, Университет Суррея, Англия и проф. А.Л. Суворов, Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия) Управляющего комитета Международного общества по полевой эмиссии. Всего этот комитет насчитывает 8 человек, по его статусу работа в нем ограничена четырьмя годами. В соответствии со статусом Комитета был избран и его новый председатель — Президент общества; им стал д-р Р. Форбс. Вице-президентом общества стал д-р М. Миллер (Ок-Риджская национальная лаборатория, США).

Труды Симпозиума изданы специальным отдельным выпуском журнала *J. de Physique* 6 (5), Suppl. JP III (9) (1996) (Франция). 44-й Международный симпозиум по полевой эмиссии был проведен с 7 по 11 июля 1997 г. в г. Цукуба (Япония). Председатель Организационного комитета — д-р К. Хоно. По решению Управляющего комитета 45-й Симпозиум будет проведен летом 1998 г. в г. Аль-Карак (Иордания), председатель Оргкомитета — д-р М. Муса.

В заключение уместно указать, что в последние годы стало традицией проводить параллельно с Международными симпозиумами по полевой эмиссии ежегодные Международные конференции по вакуумной микроэлектронике. Хотя тематики обоих форумов весьма близки, на симпозиумах явно превалирует чисто физический, научный аспект, тогда как на указанных конференциях — практический. Поскольку обычно многие ученые и специалисты участвуют в работе обоих научных форумов, их стремятся проводить в одной и той же стране. В 1996 г. 9-я Международная конференция по вакуумной микроэлектронике была проведена также в июле в Санкт-Петербурге. Председателем Оргкомитета конференции был академик Ю.В. Гуляев.