

Влюбленные в физику

Накануне Международного женского дня мы встретились с двумя женщинами, выбравшими нелёгкую профессию учёного-физика, сотрудницами Института физики полупроводников СО РАН. Этим женщинам временами приходится слышать упрёки, что они не умеют работать на токарном станке, или сентенции, что двух женщин-докторов наук на один физический институт слишком много. Но они настолько влюблены в свою профессию, что эта любовь их окрыляет и творит чудеса научных открытий. Наши собеседницы — Наталья Николаевна Рубцова, заведующая лабораторией лазерной спектроскопии и лазерных технологий и Ирина Вениаминовна Антонова, ведущий сотрудник лаборатории физики и технологии трёхмерных наноструктур и материалов с использованием графена.

Наталья Николаевна Рубцова — специалист в области нелинейной лазерной спектроскопии и фотонного эха:

— Название лаборатории лазерной спектроскопии и лазерных технологий придумал первый руководитель нашей лаборатории д.ф.-м.н. Л.С. Василенко совместно с коллегой, который до сих пор у нас работает, к.ф.-м.н. В.Н. Ищенко. Термин «лазерные технологии» подразумевает как разработку и изготовление собственно лазеров, так и их использование для обработки различных материалов. Исторически в нашей лаборатории делались лазеры под нужды института. Так, у нас был изготовлен и доведен до хорошего инженерного уровня CO_2 -лазер — это заслуга инженера Н.М. Дюбы. Имелся ряд источников когерентного излучения видимого диапазона, а также импульсных лазеров, работающих в области ультрафиолета.

В технологических целях лазерное излучение также применялось в нашей лаборатории. Проводилась рекристаллизация плёнок кремния (к.-ф.м.н. С.А. Кочубей), регистрации вредных веществ в атмосфере (к.ф.-м.н. С.А. Кочубей, к.ф.-м.н. А.А. Ковалёв). Сегодня мы занимаемся модификацией свойств полупроводниковых наноструктур путём генерации в них точечных дефектов под действием импульсного лазерного излучения. Это позволяет изменить кинетику отражения полупроводниковых наноструктур.

Лазеры на двуокиси углерода работают в области длин волн 9—11 микрон (средний инфракрасный диапазон); эти лазеры интересны для различных приложений, поскольку они мощные, высокоэффективные. Для многих CO_2 -лазеров эффективность достигает 10% от потребляемой электрической мощности (на профессиональном жаргоне — эффективность «от розетки»). Чем они интересны ещё? Оказывается, в атмосфере имеются микро-окна прозрачности, и если вы хотите, допустим, отправить лазерный луч на Луну, лучшего, чем CO_2 -лазер, не найти. Этот тип лазеров применяется для дистанционного зондирования атмосферы, он подходит для обнаружения низких концентраций вредных веществ — при условии, что спектр поглощения этих веществ попадает в область генерации лазера. Этим у нас много занимался к.ф.-м.н. А.А. Ковалёв. Надеюсь, он скоро станет доктором наук, поскольку работает очень интенсивно. Так, с помощью CO_2 -лазера мы регистрировали примеси в атмосфере вблизи ТЭЦ.

Кроме этого, в нашей лаборатории делались и делаются сегодня (к.ф.-м.н. В.Н. Ищенко) эксимерные лазеры, работающие в ультрафиолетовом диапазоне. Эти импульсные лазеры обладают большой мощностью, с их помощью можно модифицировать полупроводниковые тонкие плёнки, изменяя их свойства.

Долгое время мы в основном жили на тех лазерах, которые изготовляли сами. То есть ситуация была такая: начальник ставит конкретную исследовательскую задачу, под неё делается лазер, потом собирается вся установка, и задача решается. Сейчас мы живём немного по-другому, появилась возможность лазеры покупать. Один из них мы приобрели в фирме «Техноскан», а до этого у нас появилось новое направление — мы совместно с минской группой из Белорусского национального технического университета (БНТУ) разрабатываем полупроводниковые элементы — зеркала, которые обладают способностью заставить лазер работать в режиме синхронизации мод. Обычно это не очень мощные лазеры, но импульсы в них короткие, на уровне сотен фемтосекунд. Такие лазеры необходимы в исследованиях оптических

свойств полупроводниковых структур. Зеркало, разработанное в нашей лаборатории А.А. Ковалёвым и выращенное у нас в ИФП ребятами из соседней лаборатории, сегодня работает в лазере фирмы «Техноскан», обеспечивая генерацию коротких (около 300—400 фемтосекунд) импульсов излучения в ближней инфракрасной области. Такой способ получения коротких импульсов излучения известен во всём мире, но особенно успешно он применяется в лазерах со средним уровнем усиления. Это направление работы нашей лаборатории можно обозначить как прикладное.

Ещё одна важная и традиционная тематика нашей лаборатории — фотонное эхо. Для человека, далёкого от науки, эхо — акустическое явление: человек что-то крикнул, гора отразила, и он ещё раз услышал отражённый звук. А фотонное эхо (по-русски более правильно было бы говорить световое эхо, но «победила» в терминологии английская традиция) формируется сложнее, здесь нужно, по крайней мере, два воздействия. Кстати, сегодня понятно, что практически любая среда — газ, твёрдое тело или жидкость, биологическая ткань — способна формировать световой отклик в виде эха. Однако для формирования фотонного эха нужно подействовать на среду световым импульсом как минимум два раза — первый импульс что-то навязывает веществу (это что-то называется когерентностью), второй импульс света способен как бы обратить время вспять, так что через интервал времени, равный задержке между первым и вторым импульсами, вещество высвечивает короткий импульс излучения — фотонное эхо.

И вот этот отклик, который появляется через интервал задержки между импульсами, содержит информацию о релаксационных процессах в среде. Это важно для того, чтобы понять, как взаимодействуют частицы вещества. Для газов фотонное эхо — хороший метод исследования столкновений атомов или молекул. С другой стороны, фотонное эхо и во всём мире, и у нас в стране (этими работами занимаются в Казани, КФТИ) применяются для записи, хранения, обработки и восстановления оптической информации. Правда, масштабы времени для записи и считывания могут быть очень краткие, в зависимости от того, какая у нас среда.

Некоторые группы работают при криогенных температурах с твердотельными образцами типа ионных кристаллов $\text{LaF}_3:\text{Pr}_3^+$; такие ионы в специально подобранной кристаллической матрице хранят запись сутками. Но это при температуре жидкого гелия, что довольно трудоёмко и ненадёжно. Мы работаем при обычных температурах или чуть повышенных, и наши вещества — это молекулярные газы, точнее, их колебательные вращательные переходы, способные взаимодействовать с излучением работы CO_2 -лазера, а также оптические переходы в атомах (здесь используется излучение лазера на красителе). Время запоминания для молекул — десятки микросекунд при низком давлении газа.

Сегодня у нас есть возможность работать с атомарными парами иттербия. Там происходят удивительные вещи со свойствами самого фотонного эха. Сигнал фотонного эха существует на протяжении короткого времени (в наших экспериментах около 5 наносекунд), и всё же эти сигналы позволяют понять, что происходит при столкновении атомов друг с другом. Эти результаты хорошо воспринимаются зарубежными коллегами, публикуются в журналах высокого рейтинга. В этом заслуга наших замеча-

тельных экспериментаторов: кандидатов физико-математических наук С.А. Кочубей, Е.Б. Хворостова, В.Н. Ищенко, В.Г. Гольдорта.

В планах — продолжение разработки специфических лазерных зеркал с насыщающимися поглотителями. Наши белорусские коллеги в этом очень заинтересованы. Они быстро анализируют наши образцы и подбирают режим работы лазера так, чтобы все работало в оптимальном режиме. Надеюсь, наше сотрудничество будет укрепляться. Что касается когерентных явлений в парах атомов — в этой области у нас есть приоритетные работы, и мы будем их продолжать. Сейчас возникает много новых модных направлений, но сможем ли мы ими заниматься — зависит ещё и от оборудования. Чтобы его получить, мы пишем заявки на гранты, но вероятность чрезвычайно мала. Но кто не просит — тот ничего не обретёт.

Трудно ли быть женщиной в науке? Трудно вообще быть, и не только женщиной. Я не стала бы доктором наук, если бы со мной не работали М.Н. Скворцов, который сейчас трудится в Институте лазерной физики, Н.М. Дюба, много других людей, очень порядочных и квалифицированных... У нас прекрасный коллектив, если бы не это — было бы невозможно ничего достигнуть.

У меня папа — научный сотрудник, а в школе была прекрасная учительница физики, мы делали всякие эксперименты (что было далеко не во всех школах!), возможно, это предопределило мою судьбу. Правда, папа хотел, чтобы я стала математиком, но я решила по-своему.

Наука — это серьёзная вещь, она требует много сил, и в науке важны чисто человеческие качества: если ты экспериментатор, ты не имеешь права нигде ошибиться, принять какой-то результат, не проверив его. Честность, скрупулёзность — прежде всего. Помню, лет 10 назад была история с немецкими учёными, одного из них лишили возможности заниматься наукой за то, что он подтачивал данные. Честность — это первое, дальше идёт талант, но и плюс 95 процентов трудолюбия. И, конечно, много работы. Но хороший коллектив — это всё! Уважительное отношение к гениальным одиночкам, но для меня наука — коллективное занятие, и очень разнообразное.

На другие интересы времени практически не остаётся, но хожу в группу женской гимнастики в ДУ, чтобы держать себя в форме. У нас там есть дамы за 80, которые активно занимаются наукой, ездят в командировки. Это ли не чудо!

Ирина Вениаминовна Антонова — ведущий сотрудник лаборатории физики и технологии трёхмерных наноструктур и материалов с использованием графена (завлаб — д.ф.-м.н. В.Я. Принц):

— Мы изобретаем новые технологии и новые двумерные материалы. Основное направление — создание функциональных материалов на основе графена.

Чем интересен графен, кроме того, что за него была получена Нобелевская премия? Это первый монослойный материал, носители заряда в котором имеют ещё и нулевую массу. Для физиков возможность экспериментально исследовать такой материал позволила обнаружить ряд новых физических явлений. Его получение было удачей для экспериментаторов. Сейчас научное сообщество перешло к попыткам использовать графен для различных приложений, и тут на первое место вышли другие интересные свойства материала — высокая проводимость, подвижность носителей, высокая теплоёмкость, прозрачность и др. В качестве основного направления в настоящее время рассматривается (это



уже ближе к практическому применению) создание вертикальных гетероструктур.

Делается это просто (на словах): берём один монослой, на него накладываем монослой с другими свойствами, и так далее. Вся микросхему можно собрать вертикально столбиком в единую слоёную структуру.

И это направление признано наиболее перспективным с точки зрения приложений. Но, оказалось, для того, чтобы её собрать, нужен не только графен, но и другие материалы. Часть работ в нашей области направлена на создание других монослойных материалов. И решаем мы эту задачу путем модификации графена. На основе графена можно получить диэлектрические монослои, полупроводники с разной проводимостью, прозрачность, с разной подвижностью носителей, то есть любые материалы, которых не хватает, чтобы создать искусственную гетероструктуру.

Для такой модификации мы используем не только сам графен, но и плёнки из нескольких его слоёв — мультиграфен. И в этом направлении получен первый интересный результат: графен можно использовать в качестве сенсора. Поскольку графеновый слой очень тонкий, один атом на поверхности может изменить его проводимость. Если взять не один слой, а несколько (до десяти), то оказывается, что сигнал от сенсора увеличивается. И мы показали, что на самом деле оптимальные условия для получения максимального сигнала от сенсора — толщина в два нанометра, а не в один монослой. Это первое, чем мультиграфен интересен для приложений. В принципе, в мире аналогичный вывод сделан на других примерах, например, на элементах памяти.

Кроме того, расширяются наши возможности для изучения свойств графена. Например, мы сделали функциональный блок, где верхний слой — графен с хорошей проводимостью и высокой подвижностью носителей — лежит на изолирующих слоях из модифицированного мультиграфена, причём именно нижние слои обеспечивают эту высокую подвижность. В чём суть? Графен не может существовать сам по себе, ему нужна подложка. Самое удобное — диоксид кремния (SiO_2). Однако диоксид кремния гудит подвижностью носителей. Причина простая — зарядов, содержащихся в SiO_2 , оказалось слишком много для такого тонкого слоя как графен, в результате происходит рассеивание носителей на заряде в подложке.

Самую лучшую подвижность даёт нитрид бора (BN), он считается идеальной комплементарной парой графена. Правда, пока не умеют выращивать нитрид бора с требуемыми свойствами, получают лишь маленькие чешуйки, отщепляя их, как ранее графен, скотчем.

(Окончание на стр. 6)

На снимке В. Новикова: — доктора физико-математических наук И.В. Антонова и Н.Н. Рубцова.