



ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕНЕНИЯ РАМАНОВСКОЙ МИКРОСКОПИИ. ЛЕКЦИЯ ДОКТОРА САТОШИ КАВАТА

PRINCIPLES AND APPLICATION PRACTICES OF RAMAN MICROSCOPY. LECTURE OF DR. SATOSHI KAWATA

Сатоши Кавата, заслуженный профессор университета Осака, президент японского общества прикладной физики, президент спектроскопического общества Японии, почетный сотрудник Института физико-химических исследований (RIKEN), (ORCID: 0000-0003-1631-9588) / www.nanophoton.net

Satoshi Kawata, Professor Emeritus of Osaka University, President of Japan Society of Applied Physics, President of The Spectroscopical Society of Japan, Honorary Scientist of RIKEN

DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.3-4.160.164

Получено: 14.06.2019 г.



Фундаментальные исследования расширяют горизонты нашего знания, расчищая дорогу инженерной мысли. Результаты теоретических исследований на переднем крае науки ложатся в основу новых технологий, позволяющих создавать передовые инструменты для экспериментаторов, открывающих и накапливающих новые данные, опираясь на которые теоретики делают дальнейшие шаги в понимании основ окружающего нас мира. В этой цепочке тесного взаимодействия ученых и инженеров часто упускают важное звено – научный менеджмент, целью которого является максимальное сокращение времени внедрения инноваций от момента открытия до серийного производства оборудования, работающего на основе этих открытий.

Fundamental research broadens the horizons of our knowledge, clearing the way for engineering thought. The results of theoretical studies at the cutting edge of science

form the basis of new technologies, which allow creating advanced tools for experimenters who discover and accumulate new data, based on which theorists take further steps in understanding the foundations of the world around us. In this cooperation, scientists and engineers often miss an important link - scientific management, whose goal is to minimize the time to introduce innovations from the moment of discovery to the mass production of equipment operating on the basis of these discoveries.

Одним из прогрессивных решений является создание наукоемких компаний, обеспечивающих, с одной стороны, работу теоретиков и экспериментаторов, работающих в режиме полного погружения в свою тематику и полностью сосредоточенных на своих исследованиях, и, с другой стороны, инженеров-конструкторов, использующих полученные результаты для создания прототипов нового оборудования и серийных моделей. Такой механизм позволяет сосредоточиться на решениях узких задач, инвестирование в которые позволяет достичь прорывного эффекта

и обеспечить компании собственную нишу на рынке высокотехнологичного оборудования и технологий.

Одной из таких компаний является Токио Боэки (<https://tokyo-boeki.ru/>), организовавшая на базе химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова семинар Raman microscopy and nano-imaging for nano-materials analysis, состоявшийся 14 июня 2019 года. Докладчиком выступил профессор Сатоши Кавата (Япония; <http://www.skawata.com/english>) – признанный мировой авторитет в области спектроскопических методов



исследований и один из авторов методов поверхностно-усиленной и зондово-усиленной рамановской спектроскопии (surface enhanced and tip enhanced Raman spectroscopy). Он является одним из пионеров в области оптики ближнего поля (изобретатель ближнепольной микроскопии с усиленным наконечником), трехмерной микроскопии (лазерная КТ-микроскопия, хранение трехмерных данных), исследований плазмонов (ППР-сенсоры, плазмонная голография, плазмонный лазер, плазмонная микроскопия), двухфотонной инженерии (двухфотонная полимеризация, двухфотонная изомеризация, двухфотонная фоторефракция и т. д.), создания биоизображений и решения обратной задачи по восстановлению сигналов. В настоящее время Сатоши Кавата – заслуженный профессор Университета Осаки и почетный ученый Института физико-химических исследований (RIKEN), автор ряда книг и известных учебников "Нанооптика", "Ближняя ИК-спектроскопия", "Нанопотоника" и др.

В своей лекции профессор Сатоши Кавата подробно рассказал о рамановской микроскопии (в русскоязычной научной литературе принято название комбинационное рассеяние света. – Прим. ред.), недостатках инфракрасной абсорбционной микроскопии, рамановской микроскопии высокого разрешения (TERS), рамановской микроскопии глубокого ультрафиолетового диапазона, получению 3D рамановских наноизображений, флуоресцентной микроскопии, исследованиях биомолекул и объектов в живых клетках, получении динамических рамановских изображений, применении рамановской микроскопии в исследованиях графена, графитовых нанотрубок и наноматериалов, продемонстрировал схему и принципы работы рамановского микроскопа, использующего освещение глубокого ультрафиолетового диапазона. Множество практических применений инструментов, работающих на этих принципах, было продемонстрировано в презентации профессора Сатоши Кавата.

После семинара и дискуссии профессор Сатоши Кавата любезно согласился ответить нашему изданию на несколько вопросов.

Профессор Кавата, в нашем журнале мы стремимся рассказать о научных результатах, которые уже нашли применение в промышленности, в частности, в области нанотехнологий. Какие результаты ваших исследований имеют практические результаты и уже воплотились в жизнь?

Трудно ответить на ваш вопрос исчерпывающе, особенно в связи со спецификой вашего журнала, но особо мне хотелось бы подчеркнуть те результаты

моей работы, которые воплотились в биомедицине и фармацевтике. Это одна из значительных областей наших исследований, хорошо представленная уже в готовой продукции, оборудовании компании. Мы научились получать качественные изображения объектов с помощью измерения и обработки спектров рамановского рассеяния, сканируя лазерным излучением с длиной волны 671 нм исследуемые объекты и изучая спектры рассеянного излучения. Время измерения изменялось в зависимости от того, проводится ли грубое или точное сканирование. В процессе измерений мы получаем ряд спектров рамановского излучения для каждого из компонентов исследуемого объекта, в результате чего получаем возможность оценить характерные пики каждого из них и проанализировать данные интегрального изображения объекта. Таким образом, мы смогли от распределения интенсивностей рамановского рассеянного света перейти к распределению интенсивностей каждого характерного пика (то есть компонента лекарства), что позволяет получить цветное изображение в RGB-формате. Это наглядно было продемонстрировано в моем докладе на примере изображения медицинской таблетки, в состав которой входили ацетаминофен (анальгетик; парацетамол. – Прим. ред.), этензамид (анальгетик, болеутоляющее средство. – Прим. ред.) и кофеин. Зная характерные пики этих веществ, мы с помощью рамановского микроскопа можем получать изображения готовой таблетки и количественно оценить содержание каждого из этих компонентов в ней, измерив на таблетке квадрат со стороной 6 мм на глубину 500 мкм и оценив, таким образом, коэффициент содержания ингредиентов в лекарственной таблетке. Важно, что форма таблетки и размеры частиц ингредиентов не влияют на точность наших измерений. Этот метод можно использовать как в тестовых лабораториях, так и непосредственно в производственном процессе, контролируя качество продукции *in situ*.

Профессор Кавата, на каких исследованиях вы сосредоточены сейчас, над чем работаете в данное время?

За мою жизнь в науке накопилось очень много направлений, в которых мне хотелось бы продвигаться еще дальше, и так складывается, что я и моя исследовательская группа не сосредоточена на каком-то одном направлении, мы стараемся развивать и совершенствовать многие направления, но все они связаны с микроскопией, созданием новых микроскопов на основе наших идей. Почти все они связаны с деятельностью компании Nanophoton, для которой мы сейчас проводим академические исследе-



дования. Это не только рамановские микроскопы, но и инфракрасные, и не оптические микроскопы, и анализ экспериментальных данных.

Профессор Кавата, какие материалы исследуются с помощью микроскопов, построенных на ваших идеях?

Мы не сосредотачиваемся на определенных типах материалов для исследований, наша стихия – микроскопы и стремление получать изображения все более и более лучшего качества, создавать трехмерные, цветные изображения молекул. С помощью созданных нами микроскопов, работающих на разных физических принципах, исследовались полупроводниковые материалы, полимеры, продукция фармацевтической промышленности, анализировались наноуглеродные материалы и соединения, используемые в аккумуляторных батареях. По наноматериалам я отметил бы наши работы с наноуглеродными трубками, краевыми структурами в графене, подсчет дефектов в углеродных материалах, исследования многослойных структур в диапазоне низких значений волновых чисел. Если читателей заинтересуют наши научные исследования в этих направлениях, все мои научные статьи выложены в открытом доступе на нашем сайте, где с ними можно ознакомиться более глубоко, чем в рамках нашей беседы.

Проводите или планируете ли проводить совместные исследовательские работы с российскими учеными?

Скорее нет, чем да. У меня много друзей в России, исследователей, с которыми у меня дружеские отношения. Мы переписываемся, обмениваемся идеями в области микроскопии и плазмоники, но пока это не воплощается в совместные разработки или статьи, выполнение работ в рамках грантов или заказов компаний, с которыми я работаю. Пожалуй, в настоящее время сотрудничеством можно назвать лишь рецензирование и редактуру моих книг. Ценные замечания российских коллег перед выпуском были очень полезными и сделали их лучше. Поскольку я физик, необходимость в сотрудничестве чаще всего возникает тогда, когда соприкасаются разные дисциплины, такие как химия, информационные технологии, а также на этапе внедрения полученных результатов в создание новых микроскопов, это уже работа с инженерным корпусом. В этих случаях в исследовании объединяются профессионалы из разных областей, и результат обычно не заставляет себя ждать.

В течение последних нескольких лет вы работали над получением цветных изображений при

помощи плазмонов, воплотились ли эти работы в практические результаты?

Мы опубликовали ряд статей о цветной голографии, в которых выдвинули идею создания дисплеев, проектирующих такие цветные голограммы, в которых отображаемые цвета являются естественными и не изменяются в зависимости от угла зрения. Это удалось благодаря использованию энергии маленьких волн, плазмонов, представляющих собой колебания плотности заряда, возникающих и локализованных на границе раздела твердых тел. После публикации этих идей, разработанных совместно с моими студентами, несколько компаний обратилось к нам с предложениями о создании таких устройств. Но я всегда сконцентрирован на фундаментальных исследованиях и идеях и оставляю практическое применение и коммерциализацию другим. В этом русские и японские ученые очень похожи – мы рождаем фантастические фундаментальные идеи, открытия, инновации, а внедрение их в жизнь обычно делает кто-то другой. Вы хорошо знаете, кто. В 1992 году я запатентовал идею цветной голографии, и только через 25 лет появились люди, которые воплотили ее в работающее оборудование.

Каковы перспективы дальнейшего исследования рамановского рассеяния и какие возможные практические результаты можно ждать в будущем?

В первую очередь мы хотели бы получать рамановские изображения за меньшее время, ускорить процесс получения изображений для их дальнейшей обработки. С научной точки зрения мы хотели бы получать 3D-изображения, которые никто никогда не получал ранее, используя глубокое ультрафиолетовое излучение. Это новое слово в изучении рамановского рассеяния, и мы будем продолжать исследования в этом направлении. С технической точки зрения на пути к коммерциализации мы хотим уменьшить время получения и обработки изображений, что увеличит производительность нового оборудования, основанного на этих принципах. Недостатком является пока что высокая стоимость и громоздкость такого оборудования, и надо найти такие решения, с помощью которых можно удешевить конечное изделие без потери качества получаемых изображений. Мы постараемся анонсировать новое оборудование в сентябре этого года в Японии. Стоимость нового оборудования должна упасть почти в два раза, а размеры значительно уменьшиться. Добавлю, что одной из важных задач сейчас является работа с пластмассами, с пластиком. Часто возникает потребность определения вида пластика, его

PHARMACEUTICAL

SEMICONDUCTOR

LI-ION BATTERY

NANO-CARBON

POLYMER

LIFE SCIENCE



RAMAN touch



TERS sense



RAMAN view



RAMAN drive

PHARMACEUTICAL

SEMICONDUCTOR

LI-ION BATTERY

NANO-CARBON

POLYMER

LIFE SCIENCE



свойств. Созданием оборудования для этих целей также занимается наша компания.

По вашему мнению, что первично – ваши идеи и открытия или потребности рынка, спрос на конкретные виды оборудования, необходимого на рынке в данный момент?

Я не задумываюсь над такими вопросами, мой интерес состоит в том, чтобы реализовывать свои самые фантастические, безумные, прорывные идеи. Как правило, это приводит впоследствии к практическим результатам, появлению новых инструментов для микроскопии. Во время разработки таких идей я не особенно задумываюсь над тем, как они будут полезны в будущем. Конечно, на завершающем этапе, когда научная часть уже изучена, мы размышляем и предлагаем практические применения, но вначале идет научный поиск, рождение идей, их проверка и создание теории, описывающей физические принципы новой идеи и результатов экспериментов, поставленных для подтверждения наших идей и догадок. Однако, направлений деятельности много, есть возглавляемая мной группа студентов, перед которой иногда ставятся задачи практического плана, это можно назвать потребностью рынка, и мы их успешно решаем. Но для меня в первую очередь представляет интерес физика явления, постановка экспериментов, изучение и обработка полученных данных и анализ результатов. Я не следую потребностям рынка, они всегда отстают от переднего края науки, где я работаю.

В докладе вы рассказывали об измерениях в живой клетке, насколько перспективным, по-вашему мнению, является это направление с точки зрения практического применения? Может ли оно стать массовым?

Технически, мы уже решили эту проблему и опубликовали ряд работ по этому вопросу, в которых мы исследовали протеины и среду, находящуюся в живой клетке. Используя частицу золота, мы, в частности, получили pH-карту живой клетки. В действительности, эта тема меня не интересует с точки зрения физики, поймите, моя задача улучшить состояние современной микроскопии, и поэтому не так важно, что и какие вещества мы исследуем, я стремлюсь не к изучению веществ, материалов, живых клеток, а к изучению фундаментальных физических основ, принципов, на которых возможно создать новые микроскопы, увеличить их разрешение, другие характеристики, научиться создавать трехмерные, цветные изображения, объемные модели молекул изучаемых веществ. В сотрудничестве с коллегами мы

изучали кровь, но такие исследования не являются приоритетными для меня лично. Моей научной задачей является понять физику явлений и предложить использование результатов моих исследований на практике. Конечно, мы проводим прикладные исследования, но это уже вторичная задача, вытекающая из первой. В основном, эту задачу решает моя исследовательская группа, я лишь помогаю наилучшим образом организовать исследования и интерпретировать результаты. При работе с живыми клетками нас не очень интересует, что привело клетку к такому виду, в котором она попала к нам. Является ли это результатом заболевания, или почему произошло отклонение параметров клетки от нормы, этими вопросами занимаются другие, мы лишь исследуем параметры и изображения клетки, сравниваем полученные результаты. Тут, скорее, мы не исследователи объекта эксперимента, наша задача улучшать инструменты для исследования объектов. Кому интересны объекты, могут воспользоваться разработанным компанией оборудованием, физические принципы работы которого изучаем и применяем мы.

Что вы хотели бы сказать или пожелать нашим читателям?

У меня много друзей из России, работающих в разных странах мира. Мы поддерживаем связь друг с другом и обмениваемся идеями и мыслями по интересующей нас научной тематике. Иногда мы встречаемся на семинарах или конференциях. Это мой первый визит в Россию, но, разумеется, не последний. Я надеюсь познакомиться с многими учеными в России, завязать научные контакты, лучше узнать аудиторию исследователей разных поколений, многие из которых, я уверен, читают ваш журнал. Возможно, если у меня будет время, когда-нибудь я смогу опубликовать свою статью в журнале НАНОИНДУСТРИЯ, чтобы донести вашим читателям свои идеи. Я всегда советую своим студентам ехать за рубеж, расширять свои горизонты, общаться и читать работы ученых всего мира, пытаться наладить с ними постоянные научные контакты и взаимодействие. Нужно быть активными и любознательными, владеть языками и постоянно работать над расширением знаний в своей области исследований, посещать семинары и конференции. Сегодня мне было очень приятно провести этот семинар, ответить на вопросы и поучаствовать в дискуссии. Это всегда наталкивает на новые мысли и идеи, позволяет взглянуть на свои исследования с непривычного для себя ракурса.

Большое спасибо за интересную беседу.

С Сатоши Кавата беседовал А.Н.Алёшин



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2019

30 сентября - 5 октября
Республика Крым,
г. Алушта

V Юбилейный Международный Форум «Микроэлектроника 2019» -

ключевое событие года в области микроэлектронных технологий

- V Научная конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули»
- V Деловая программа
- V Демонстрационная зона
- V Фестиваль инноваций



За все 4 года успешной работы

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ОРГАНИЗАТОРЫ



Генеральный информационный партнёр



Оператор Форума: Компания «ПрофКонференции» • Тел.: +7 (495) 641-57-17 • E-mail: info@microelectronica.pro
Подробная информация и регистрация участников на официальном сайте Форума: microelectronica.pro