

СПИНТРОНИКА — НАУКА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

✍ ЕЛЕНА КОРДОВСКАЯ

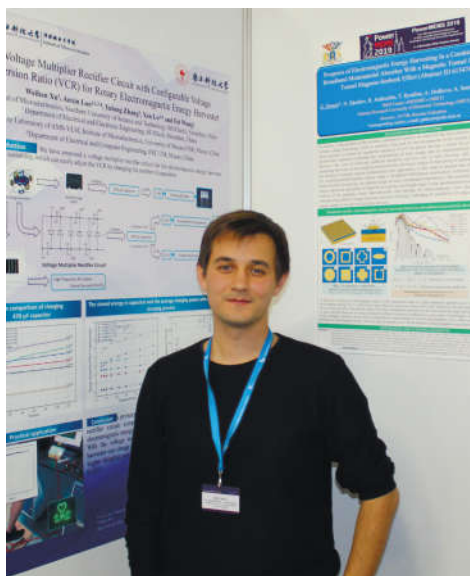
📷 АРХИВ ГЛЕБА ДЁМИНА

В видеоролике МИЭТ-ТВ «Наука — это не фокус», который видел, пожалуй, каждый абитуриент нашего университета, об исследованиях в области спинтроники рассказывал подающий большие надежды студент кафедры квантовой физики и нанозлектроники **Глеб Дёмин**. Спустя восемь лет Глеб Дмитриевич руководит научно-исследовательской лабораторией «Исследование изделий нано- и микросистемной техники» МИЭТ, является членом международного сообщества IEEE (Института инженеров электротехники и электроники), кандидатом физико-математических наук и с ещё большим энтузиазмом говорит о перспективах, которые открывает перед человечеством спинтроника».

— **Глеб Дмитриевич, расскажите, как вы увлеклись наукой? Это осознанный выбор ещё со школьной скамьи или...?**

— В школе были совсем другие планы. Перед поступлением в институт думал попробовать себя в журналистике. Увлекался написанием стихов и литературных очерков, видел в этом возможность выбора творческой профессии. Однако, физико-математические науки не отходили на последний план и имели свои перспективы. К окончанию школы компьютерные технологии развивались с большой скоростью и становились всё более востребованными. Поэтому после окончания 11 класса я подал документы в два технических вуза Москвы — **МГТУ им. Н.Э. Баумана** и **МИЭТ**. В Бауманский приняли по олимпиаде на факультет Информатики и систем управления, в МИЭТ — как золотого медалиста на факультет Электроники и компьютерных технологий. Выбор пал на наш университет, в том числе потому, что при знакомстве город понравился с первого взгляда — зелёный, солнечный!

Учёба в МИЭТе была полной событий, увлекательной — встречались преподаватели, которые по-настоящему вдохновляли студентов на поиск своего призвания, мотивировали стать хорошими специалистами в области математики, физики, нанотехнологий. Среди них **С.Г. Кальней, А.Г. Фокин, Ю.В. Копаев,**



Глеб Дёмин

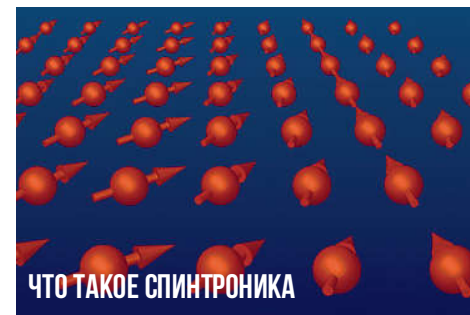
заведующий кафедрой квантовой физики и нанозлектроники **А.А. Горбачевич** и мой научный руководитель, профессор, д.ф.-м.н. **А.Ф. Попков**, с которым мы познакомились на экзамене. Именно Анатолий Фёдорович предложил вступить в его научную группу и начать заниматься спинтроникой — зарождавшейся в то время областью физики, посвященной исследованиям переноса спина (крутящего момента электрона) в наноразмерных магнитных гетероструктурах с целью создания нового класса энергонезависимых электронных устройств на их основе. Разработками в данной области тогда занимались ведущие мировые научные центры: Motorola, IBM, Samsung — отрасль только начинала развиваться.

«Тягу и любовь к науке привил каждому из нашей группы научный руководитель, А.Ф. Попков, что, в целом, проложило мой дальнейший жизненный путь»

В настоящее время энергонезависимая память STT-MRAM на базе технологий спинтроники уже имеет коммерческие прототипы ёмкостью до 1Гб, которые в ближайшем будущем могут прийти на смену традиционной КМОП-памяти (SRAM, DRAM) в современных компьютерах, а тогда всё это было лишь на уровне идеи. Знакомство с А.Ф. Попковым на экзамене определило мой путь в науку и профессию — начались насыщенные научные семинары, обсуждения, первые поездки на международные конференции, где мы, будучи еще студентами, докладывали свои научные результаты и знакомились с ведущими мировыми учёными, устанавливали новые контакты. Появилась возможность исследовать ранее не изученные явления, придумывать оригинальные идеи новых спинтронных устройств, которые постепенно реализовывались в будущем — магниторезистивная память, TMR-датчики, наногенераторы, детекторы, биосенсоры.

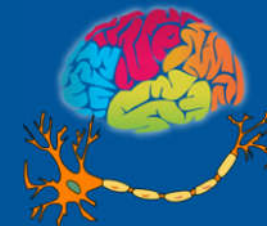
В научной группе я стал заниматься теоретическими исследованиями спинового транспорта и эффекта передачи спинового вращательного момента в магниторезистивных наноструктурах, применимых для построения базовых элементов логики и памяти. Основоположителем теории данного направления спинтроники стал французский профессор **А. Ферг**, удостоенный в 2007 году Нобелевской премии по физике «за открытие эффекта гигантского магнетосопротивления». Так сложилось, что этот год практически совпал со временем моего поступления в МИЭТ, а последовавшая за этим череда мировых научных открытий в спинтронике (спиновый эффект Зеебека, спин-орбитальный вращательный момент, магнитные скирмионы и проч.) еще больше подкрепляли наше стремление не останавливаться на достигнутом и трудиться в теории наноматематизма, продвигаться вперед.

Тягу и любовь к науке привил каждому из нашей группы научный руководитель, А.Ф. Попков, что, в целом, проложило мой дальнейший жизненный путь.



ЧТО ТАКОЕ СПИНТРОНИКА

Спинтроника — наука электронных устройств нового поколения, которые приходят на смену компонентной базе существующих информационных, био- и нанотехнологий. Уже сейчас компания Everspin Technologies начала серийную поставку коммерчески доступных микросхем энергонезависимой магниторезистивной памяти на эффекте переноса спина (STT-MRAM) ёмкостью до 1 Гб, которая обладает высоким быстродействием (несколько нс), отличным масштабированием (до 10 нм и ниже) и практически неограниченным количеством циклов чтения/записи, что делает STT-MRAM одним из главных кандидатов для замены eDRAM/SRAM в компьютерах. Новая технология позволит не терять информацию в случае непредвиденных сбоев системы или выключений электричества. Компанией CAES, являющейся лидером в аэрокосмической отрасли, была отмечена высочайшая надёжность STT-MRAM в условиях радиационного облучения, что подчёркивает эффективность её применения для работы в космосе и выполнения длительных космических миссий.



— **Сегодня вы руководите научно-исследовательской лабораторией «Исследование изделий нано- и микросистемной техники», которая входит в состав Центра коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база». Расскажите об этом центре.**

— Центр «МСТ и ЭКБ» был создан в 2002 году как самостоятельное структурное подразделение МИЭТа. Его сфера деятельности охватывает ряд научных направлений — вакуумная наноэлектроника, наномагнетизм и спинтроника, нанофотоника, устройства на основе МЭМС- и НЭМС-технологий, 3D сборка. В соответствии с требованиями заказчиков Центр «МСТ и ЭКБ» предоставляет широкий перечень услуг, включающий в себя как проведение аналитических исследований перспективных наноматериалов, развитие новых технологий приборов микро- и наносистемной техники, так и создание электронной компонентной базы современной наноэлектроники с последующей организацией мелкосерийного производства конечной продукции на отечественной технологической линейке.

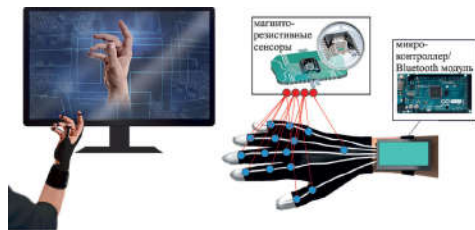
Наша лаборатория в Центре занимается проектированием устройств и разработкой новых технологических решений в области нано-сенсорики (акселерометры, датчики давления, температуры, расхода, хромотографы, датчики магнитного поля, датчики ветра, датчики тока), МЭМС (микросеркальные матрицы, адаптивные зеркала, микронасосы, микроклапаны, микроинжекторы), беспроводного преобразования энергии (поглотители на базе метаматериалов, термоэлектрические элементы), спинтроники (мемристоры, магнитные датчики, микроволновые накопители энергии) и развития элементной базы вакуумных интегральных схем (портативные рентгеновские трубки, ТГц автономные устройства — диоды, транзисторы с вакуумным каналом).

— **Чем именно занимаются в лаборатории в настоящее время?**

— Сравнительно недавно совместно с Институтом РАН (Нижний Новгород) был успешно завершён проект по созданию источника мягкого рентгеновского излучения на основе матрицы микрофокусных рентгеновских трубок для проведения безмасочной рентгеновской литографии с разрешением больше 10 нм. Указанная технология на текущий момент не имеет мировых аналогов и может обеспечить развитие отечественной наноэлектроники нового поколения, масштабируемой в область суб-10 нм проектных норм.

В области биомедицины также имеются некоторые перспективные разработки — реализуется технология сенсорных систем («умного»

коврика и «умной» стельки) для дистанционного мониторинга и предупреждения осложнений синдрома «диабетической» стопы у больных сахарным диабетом, что позволяет предотвратить заболевание на начальной стадии развития. Также ведутся работы по созданию роботизированной перчатки на основе высокочувствительных магниторезистивных сенсоров для ускорения процедуры нейрореабилитации



Роботизированная перчатка на основе высокочувствительных магниторезистивных сенсоров (разработка)

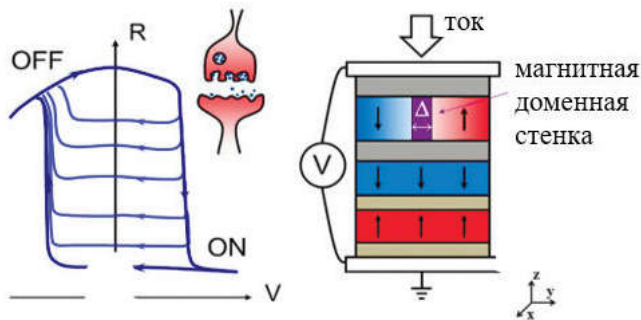
пациентов после инсульта. Такая перчатка в формате тренировок визуализирует на компьютере движение руки и собирает информацию о двигательной активности, что позволяет существенно улучшить моторные функции пальцев и тем самым ускорить процесс восстановления координации движений. Достигнута предварительная договоренность с клиникой реабилитации ФГБУ НМХЦ им. Н.И. Пирогова на проведение клинических испытаний пресерийных образцов перчатки.



спинтронный мемристор

Отдельно стоит отметить проводимое лабораторией проектирование элементной базы вакуумной нано-

электроники на основе кремниевых технологий — диодов, транзисторов, характеризующихся высоким быстродействием (в ТГц диапазоне) и стабильной работой в экстремальных условиях (высокие температуры, радиация). Такие приборы могут применяться для выполнения длительных космических экспедиций



по исследованию далёких планет Солнечной системы. Это оказывается затруднительным для полупроводниковых устройств в силу нестабильной работы при высоких температурах и продолжительном воздействии космического излучения.



На сегодняшний день лабораторией осваивается технология создания твердотельных мемристоров, работающих на основе динамики доменных стенок при переносе спина в магнитных наноструктурах, что приводит к получению дискретного набора резистивных состояний, которые могут переключаться между собой под действием электрического тока. Благодаря своей особенности, спинтронные мемристоры могут выполнять роль искусственных синапсов в системах искусственного интеллекта — передавать электрический сигнал между искусственными нейронами и эффективно управлять его амплитудой. Направление особенно актуально в разрезе развития современных информационных технологий, посвящённых реализации нейроморфных вычислительных архитектур, обладающих сверхвысокой производительностью, и привлекательно для выполнения ряда когнитивных задач, таких как распознавание образов, синтез речи, принятие решений. Лаборатория имеет тесные контакты по вышеперечисленным исследованиям с коллегами из ряда иностранных университетов и компаний, таких как университет Суррея (Великобритания), Исследовательский центр магнитных и спинтронных материалов (Япония), университет Гриффит (Австралия), компания I-FEVUS (Италия), Crocus Technology (Франция).

— **Какие проекты (планы) у вас и вашей лаборатории в будущем? Интересно узнать, как те исследования, которыми занимаетесь вы и ваши коллеги, могут повлиять на жизнь обычных людей.**

— Один из наиболее интересных проектов, который мы собираемся развивать в нашей лаборатории, — это нейроморфная спинтроника, попытка на основе электронных устройств, работающих на передаче спина, воспроизвести функции биологических элементов нервной системы — искусственных нейронов и искусственных синапсов. Спин электрона будет выступать в качестве «носителя» информации в нейроне, логическим состоянием которого можно будет управлять путём импульсной инжекции спин-поляризованного тока по соответствующему проводящему каналу спинтронного мемристора. Подобная концепция позволит создать вычислительные архитектуры, превосходящие современные компьютеры на базе архитектуры фон Неймана, которые уже сейчас испытывают затруднения с обработкой возрастающего из года в год потока информации. Как следствие, это приводит

к непропорциональному росту затрачиваемых вычислительных ресурсов.

Для сравнения, человеческому мозгу для повседневной работы с частотой в несколько десятков Гц требуется всего порядка 20 Вт мощности. В то же время современные суперкомпьютеры для выполнения этих же целей потребляют до 500 МВт при тактовой частоте процессоров в несколько ГГц. Подобное колоссальное различие наталкивает на необходимость переосмысления существующей концепции компьютерной архитектуры в сторону рассмотрения устройства человеческой нервной системы, где обработка и хранение информации производятся в параллельном режиме отдельными клетками (нейронами), связанными между собой межклеточными соединениями (синапсами), которые осуществляют передачу данных в форме электрических импульсов. Это обеспечит развитие совершенно новых отраслей знаний — технологий машинного обучения и искусственного интеллекта и связанных с ними наукоёмких задач, направленных на обработку больших массивов данных, развитие рынка Интернета вещей (IoT), реализацию глобальной концепции «умных городов», а также значительно повысит эффективность обработки и распознавания неструктурированной (текстовой, графической, звуковой) информации. Подобная реализация в «железе» ещё не сформирована и является совершенно новым шагом в области науки.



Студентам я бы посоветовал выбирать себе ту профессию, к которой у них есть склонность, интерес, а усердие, умеренный энтузиазм и непрерывная работа по направлению к заданной цели обеспечат возможность дальше развиваться — не обязательно в русле современных востребованных специальностей. Никогда не знаешь, что выстрелит. Для этого надо быть смелыми, не бояться пробовать себя в самых различных направлениях, как говорят учёные — экспериментировать, пока не найдёшь свое, и, самое главное, не останавливаться на достигнутом. В любой сфере есть место для творчества, порой для этого достаточно взглянуть на задачу под другим углом и постараться найти своё решение.

Неважно в какой отрасли — науке, музыке, искусстве, дизайне или компьютерных технологиях. Важнее найти своё призвание, где твой труд принесёт пользу, где можно создать что-то новое и тем самым реализовать свой талант. Поэтому рецепт здесь очень простой. Делать то, что любишь, и любить то, что делаешь. А для выбора у ребят еще целая жизнь впереди и хорошая стартовая площадка в лице нашего института, все остальное зависит от них самих. Остаётся только пожелать успехов и самую каплю везения!

