

"Нанотехнологии 20 лет спустя"

Самардак А.С.

Часть 1. Творческая

Предисловие

За прошедшие 20 лет Земля и её обитатели сильно изменились. Города стали просторнее, чище и зеленее, люди побороли многие неизлечимые ранее болезни, стали жить счастливее и дольше, а «умные» машины взвалили на свои сильные плечи большую часть тяжелой и опасной работы человечества. В чем основная причина подобных метаморфоз? Дело в том, что Мир развивался в эпоху Нано и Человек уже научился управлять атомами и электронами, понял как создавать метаматериалы не встречающиеся в природе с необычными функциональными свойствами, открыл путь к неисчерпаемым солнечным и водородным источникам энергии, и, уже практически, приблизился к разгадке основных законов зарождения и развития нашей Вселенной. Нанотехнологии достигли пика своего развития и уже многие ученые подумывали о новом модном имени для «выросшего» из нано-штанишек младенца. И имя это было Пикотехнологии (10^{-12} м), в то время как многие авторитеты ученого мира настаивали на более прогрессивном термине – Фемтотехнологии (10^{-15} м).

Студия программы «Доброе утро, Россия!»

Ведущие – Екатерина и Валентин. На столике установлено научное оборудование.

Валентин: Здравствуйте, уважаемые телезрители! Сегодня в нашей студии очень интересный человек, основатель когнитивного наноинжиниринга, выдающийся ученый-нанотехнолог, профессор Дальневосточного федерального университета Александр Сергеевич Самардак.

А.С.: Здравствуйте, Екатерина и Валентин! Доброе утро, уважаемые зрители! Я очень рад присутствовать сегодня в студии и с удовольствием отвечу на все ваши вопросы.

Екатерина: Александр Сергеевич, вас по праву называют отцом нейронанозлектроники за создание первого нейрочипа, имитирующего электрическую активность мозга собаки и способного к самообучению и принятию решений. Это в свою очередь послужило началом самого амбициозного проекта в истории человечества – проекта по созданию искусственного мозга человека, так сказать, в «железе». Расскажите, пожалуйста, как всё начиналось и как вам удалось достичь такого грандиозного успеха в этой области.

А.С.: В середине прошлого столетия ученые, окрыленные успехами транзисторной электроники и компьютерной техники, были преисполнены оптимизма по поводу создания искусственного интеллекта, причем в ближайшие десятилетия. Но натолкнувшись на ряд непреодолимых в то время трудностей (как технологических, так и теоретических) решили, что создать мыслящий мозг невозможно. Мощности компьютеров на пороге нового тысячелетия хватало лишь на то, чтобы моделировать нервную активность простого дождевого червя и, несколько позже, фруктовой мушки. Группа, в которой я работал 25 лет назад, пошла по совершенно новому пути. Мы решили использовать утверждение

Вильяма Шокли (англ. William Bradford Shockley), который 80 лет назад сказал, что нервное волокно и полупроводниковый p-n переход обладают схожими свойствами. В 2007 году мы построили первый в мире цельный полупроводниковый наноразмерный нейрон на основе арсенида галлия. Мы использовали весь нанотехнологический арсенал для этого: молекулярно-лучевую эпитаксию, электронную и оптическую литографию, ионно-лучевое травление, осаждение металлов в вакууме. Созданный нейрон обладал наноразмерными дендритами, сомой и аксоном и всецело проявлял свойства, присущие нейронам нашего мозга. На следующем этапе мы создали простейшую нейросеть из 20 нейронов, которая была способна проводить логические операции, распознавать простейшие образы, запоминать информацию и даже обучаться без «учителя»! Это было удивительное время! Мы чувствовали, что стоим на пороге создания нечто большего и могущественного, но в тоже время нас охватывал страх: а что будет, если новый разум посчитает нас лишними в эволюционной цепочке и увидит себя венцом творения? Мы продолжали работу. Инструменты нанотехнологий развивались, появилась трехмерная нанолитография, позволяющая создавать электронные элементы в объеме рабочего материала. Человеческий мозг – это объемная конструкция, состоящая из триллиона нейронов, соединенных определенным образом в сеть, причем каждый нейрон имеет по десять тысяч соединений (синапсов) с соседями. 3D нанолитография дала нам возможность спроектировать мозг простейших животных, таких как кошка и собака. Мозг этих животных содержит всего чуть более 100 миллионов нейронов, то есть их количество сравнимо с числом транзисторов в полупроводниковом процессоре. В искусственном мозге один нейрон с линейным размером 500нм занимает объем около $1.25 \times 10^{-18} \text{ м}^3$, что, смею заметить, во много десятков раз меньше размеров его биологического собрата и сравнимо с объемом бактерии. Не трудно сосчитать, что общий объем нового мозга будет равен 10^8 нейронов $\times 1.25 \times 10^{-18} \text{ м}^3$. Это всего лишь микрочип со стороной в 1 миллиметр и толщиной 125 микронетров! Вот вы можете увидеть этот микрочип, я его специально принес на передачу вместе с оптическим микроскопом.

Екатерина (глядя в микроскоп): Кубик в центре микросхемы и есть искусственный мозг?

А.С.: Совершенно верно. Вы видите крохотные золотые нити, которые подобно лапкам паука расходятся от чипа к микроконтактам? Это 20-ти микронные провода для ввода и вывода данных. Мы сейчас его подключим к источнику питания и попробуем обучить простейшим операциям. При помощи этой высокоразрешающей цифровой камеры введем в область, ответственную за память, все буквы русского алфавита. Теперь поэкспериментируем. Екатерина, напишите, пожалуйста, на листе бумаги какое-нибудь слово.

Екатерина пишет слово «Нанометр».

А.С.: Спасибо. Теперь поместим это слово перед камерой и посмотрим, сможет ли «понять» наш мозг, что написано на листе.

На экране монитора, подключенного к нейрочипу, высвечивается слово «НАНОМЕТР».

А.С.: А теперь более сложный эксперимент. Сделаем снимки наших лиц и поместим в память нейрокомпьютера. А затем «попросим» нейрочип распознать, кто есть кто.

Опыт успешно реализуется.

А.С.: В нейрочип можно заложить огромный объем информации, на основании которой, используя широко известный алгоритм Хебба для обучения без «учителя», наш компьютер может самообучаться и работать как независимый эксперт в любой области знаний. Например, с его помощью легко реализуется функция синхронного перевода с любого языка мира. Представьте себе миниатюрное устройство, вставляемое в ухо и позволяющее вам понимать любого человека на планете. Если немного расширить функциональность, то можно создать устройство с голосовым синтезатором, в реальном времени переводящее с вашего языка на любой другой. Путешествия по странам и континентам превратятся в увлекательное приключение, в котором вы будете активным участником!

Валентин: Интересно, а может ли ваше изобретение применяться в медицине. Насколько нам известно, нанороботы и нанопиллюли успешно трудятся на благо человечества, избавляя людей от многих ранее неизлечимых заболеваний. Как можно использовать нейрочип для нужд здравоохранения?

А.С.: Использование искусственных нейронов в медицине – одно из приоритетных направлений наших исследований. В мире огромное количество людей, страдающих потерей памяти или неправильной работой головного мозга. Нейрочип позволяет заменить пораженные участки головного мозга, частично либо полностью восстанавливая функциональность его работы. Мы уже научились подключать искусственные нейроны к живым клеткам, используя углеродные нанотрубки. Они не отторгаются биологической тканью и хорошо проводят электрические импульсы. Встроив такой нейрочип в подкорку, человек обретает память либо его умственные способности улучшаются во много раз. Представьте, скольких детей с отсталым умственным развитием мы можем спасти! Нейронные осцилляторы, так иногда мы называем нейрочипы, могут быть использованы для управления дыхательными аппаратами, так как они гораздо лучше справляются с изменчивым ритмом легочного дыхания и моментально подстраивают свою частоту под частоту дыхания пациента. Подобное применение нейрочипы найдут и для контроля кардиостимуляторов.

Интересным видится применение искусственных нейронных сетей как для моделирования поведения мозга при приеме лекарственных препаратов пациентом, так и для изучения беспорядочной нервной активности (сердечная аритмия) и высоко синхронизированной пульсации (эпилепсия) у больных.

Екатерина: Потрясающие перспективы! Надеюсь, все ваши идею будут воплощены в жизнь! Наша передача подходит к завершению. Спасибо, что пришли к нам в студию и рассказали о своих изобретениях и идеях.

Валентин: Спасибо и до новых встреч!

А.С.: Благодарю вас!

Часть 2. Формально – квалификационная



1. Самардак Александр Сергеевич

2. Учитель физики и информатики, кандидат физико-математических наук по специальности «Физика конденсированных сред»
3. Имею 100 публикаций, из них 12 учебно-методических (из них 4 учебника), 80 научных работ, 2 изобретения, используемых в педагогической практике.

Список лучших работ

1. **Samardak A.S.**, Nogaret A., Taylor S., Balanov A.G., Janson N.B., Farrer I., Ritchie D.A., *Stochastic Dynamics in Noise Entrained Semiconductor Neuron*, Physical Review Letters, 102 (2009) 226802.
2. **Samardak A.S.**, Taylor S., Nogaret A., Farrer I., Ritchie D.A., *An Analogue Sum and Threshold Neuron based on the Tunnel Amplification of Electrical Pulses*, New J. Phys., 10 (2008) 083010.
3. **Samardak A.S.**, Taylor S., Nogaret A., Hollier G., Austin J., Farrer I., Ritchie D.A., *Coincidence detection and regeneration in artificial neurons*, Physica Status Solidi (a) 205, 11, (2008) 2651-2654.
4. **Samardak A.S.**, Taylor S., Nogaret A., Hollier G., Austin J., Ritchie D.A., *Analogue Summation of Electrical Spike Trains in Semiconductor Nerve Fibres*, Physica E 40 (2008) 2214–2216.
5. **Samardak A.S.**, Taylor S., Nogaret A., Hollier G., Austin J., Ritchie D.A., *Propagation and Spatio-temporal Summation of Electrical Pulses in Semiconductor Nerve Fibres*, Applied Physics Letters, 91 (2007) 073502.

Список конференций:

1. *Magnetic configuration feature of nanodisks*, **STINT Workshop on Oxide and Interface Magnetism**, NTNU, Trondheim, Norway, 2009.
2. *A creation of neuromorphic semiconductor devices by nanoengineering methods*, **2nd All-Russian school-seminar “Nanoengineering”**, Bauman’s MSTU, Moscow, 2009.
3. *Magnetic Structure of the nanodisks with a crown*, **NMMM-21**, MSU, Moscow, Russia, 2009.
4. *The Stochastic Resonance Phenomena in Active Semiconductor Neurons*, **PDMM-2009**, RAS, Vladivostok, Russia.
5. *Stochastic Resonance in Noise Entrained Semiconductor Neuron*, **ICPS 29**, Rio de Janeiro, Brazil, 2009.
6. *Quantum Interferences of Edge Channels Activated by Intersubband Optical Transitions in Magnetically Confined Quantum Wires*, **ICPS 29**, Rio de Janeiro, Brazil, 2009.
7. *Active semiconductor neurons for parallel computation*, **Invited talk, 14th All-Russian scientific conference of young scientists**, Ufa, Russia, 2008.

8. *Stochastic Resonance in Active Semiconductor Neurons*, **CMMP-2008**, London University.
9. *Analogue monolithic neuron for spike timing computation*, **Symposium on Neural Networks and Cellular Automata: from superconducting junctions to biology**, Department of Physics, Loughborough University, 2008.
10. *Semiconductor neuronal nanofibers for parallel computation*, **3rd International Conference on Micro-Nanoelectronics, Nanotechnology & MEMs**, NCSR Demokritos, Athens, 2007.
11. *Towards the realization of artificial semiconductor neurons*, **NanoScience group seminar**, University of Bath, UK, 2007.
12. *Selective wet etching of modulation doped GaAs/AlAs nanowires for making the free standing dendrites and axons of artificial neurons*, **4th International Symposium "Chemistry And Chemical Education"**, Vladivostok, Russia, 2007.

Достижения

Являюсь членом жюри Flash-фестиваля и членом Ученого Совета ИФИТ ДВГУ. Был председателем секции «Физика полупроводников и диэлектриков» и выступал с приглашенным докладом «Активные полупроводниковые нейроны для параллельных вычислений» на Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых (Уфа, 2008 г.). В 2005 г. был награжден бронзовой медалью Министерства образования и науки РФ за третье место во Всероссийском конкурсе «Молодой организатор в области образования, науки и высоких технологий» (Москва, 2005 г.). В настоящее время соискатель являюсь действительным членом Института Физики (Institute of Physics, UK), независимым экспертом Европейской грантовой программы FP7, постоянным членом научного комитета Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых (ВНКСФ) по секциям «Квантовая электроника», «Физика плазмы, электрофизика, плазменные технологии», «Магнетизм» и «Физика конденсированного состояния вещества (включая наносистемы)». В 2009 году стал победителем Всероссийской Олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее».

4. В чем смысл Вашей работы сейчас? (не более 1 стр.)

В настоящее время активно работаю в области нанотехнологий. Занимаюсь изучением процессов и явлений в магнитных наносистемах для разработки нового поколения магнитной памяти и спин-электронных устройств. Наиболее приоритетным направлением моих исследований является создание и исследование нейроморфных устройств для параллельного компьютеринга. По сути, я продолжаю свою научную работу, которой занимался в течение трех лет в Университете г.Бата (University of Bath, UK). Совместно с английскими учеными мы разработали аналоговый полупроводниковый нейрон, который функционирует как его биологический собрат. В данный момент мы разрабатываем новое нейроморфное устройство, на основе гетероструктуры «ферромагнетик-изолятор-полупроводник» для передачи информации в виде последовательности солитоновых волн. Этот подход позволит нам в ближайшее время создать

небольшую нейросеть, которая сможет проводить простейшие вычисления и будет обучаться «без учителя».

Моя научно-исследовательская работа поддержана несколькими программами и проектами Министерства Образования и Науки РФ и Российского Фонда Фундаментальных исследований. Активно участвую в международных исследовательских программах с Великобританией, Норвегией и Германией.

Так как работаю доцентом в университете, то читаю лекционные курсы: «Представление знаний в информационных системах», «Технологические основы производства вычислительной техники», «Архитектура электронных вычислительных систем», «Базы Данных», «Электронные издания», «Мировые информационные ресурсы», «Микропроцессоры». Руководжу дипломными и курсовыми проектами студентов и научной работой аспирантов.

5. Лаконично и обосновано объясните, в чем состоят Ваши лучшие, самые оригинальные находки (не более 1 стр.)

Впервые мной был создан импульсный нейрон, точно имитирующий свойства биологических нейронов. Искусственный нейрон использует полупроводниковые нанопроволоки для передачи сигнала подобно биологическим дендритам и аксону. Сома в нейроне – это активный элемент, в котором входящие импульсы интерферируют. Сома по сути – это квантовый туннельный усилитель, вертикально интегрированный с нанопроволоками для регенерации импульсов. Мной было показано, что искусственный нейрон имеет сигмоидальную амплитудную характеристику, аналогичную для биологических нейронов. Нелинейный отклик нейрона позволяет использовать мощность белого шума для усиления подпороговых сигналов. Подавая на нейрон белый шум и полезный периодический сигнал, мы показали, что шум улучшает передачу подпороговых сигналов, что подтверждается наблюдаемым стохастическим резонансом. Это ключевое явление в неврологии. Так, например, показано, что ушная улитка использует броуновский шум для усиления звуков. По результатам моей научной работы было опубликовано 8 статей в авторитетных научных журналах.

6. Что Вы можете показать зрителям? (образцы, установки, изобретения, ..., желательны фотоизображения) (не более 1 стр.)

Зрителям будут показаны изображения уже созданного нейрона в виде микроизображений. Можно будет рассказать и проиллюстрировать процесс создания наночипа, используя рисунки и фотографии оборудования. Думаю, зрителям будет интересно узнать, что такое «чистая комната», в которой создают и исследуют наноразмерные устройства.

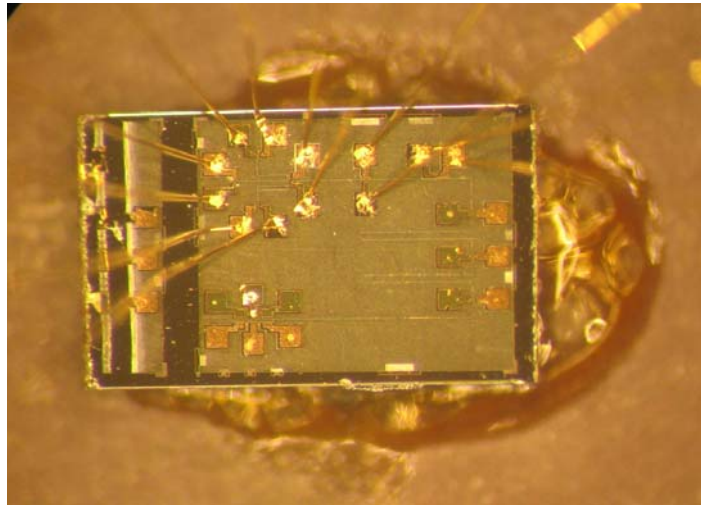


Рисунок – Снимок нейромикрочипа, созданного автором статьи.

7. Дополнительная информация (что можно, а что нельзя раскрывать публично, дополнительные важные факторы, неформальное объяснение, почему Вы хотели бы рассказать о Вашей работе) (не более 1 стр.)

Так как работа является пионерской и открывает новые перспективы для создания нового поколения вычислительной техники, работа которой основывается на принципе параллельной обработки информации по аналогии с головным мозгом человека, то зрителям будет интересно узнать более подробно о технических и прикладных аспектах работы. Кроме того, моя работа имеет непосредственное отношение к продвинутым медицинским технологиям, которые позволят сделать многих людей здоровыми и счастливыми. Работа не является секретной, поэтому может быть представлена широкой публике.