

Электромагнитная «магия» сверхматериалов



ПРИНЦ Виктор Яковлевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики и технологии трехмерных наноструктур Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 290 научных публикаций и 27 патентов

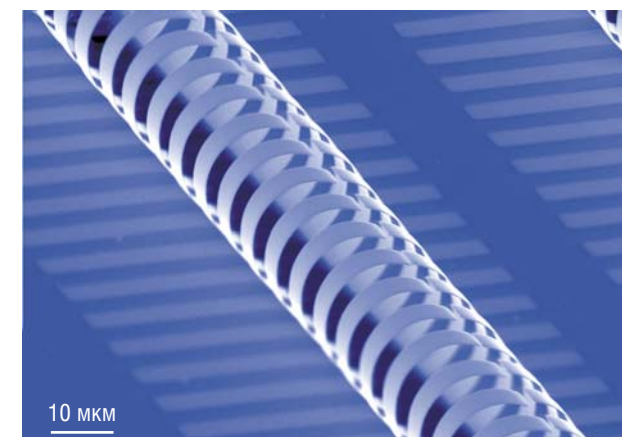
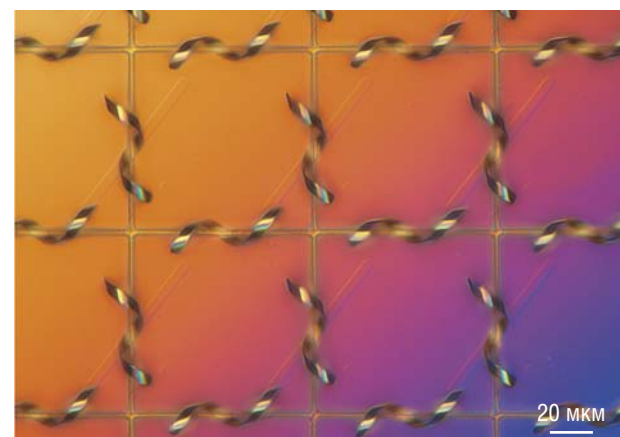
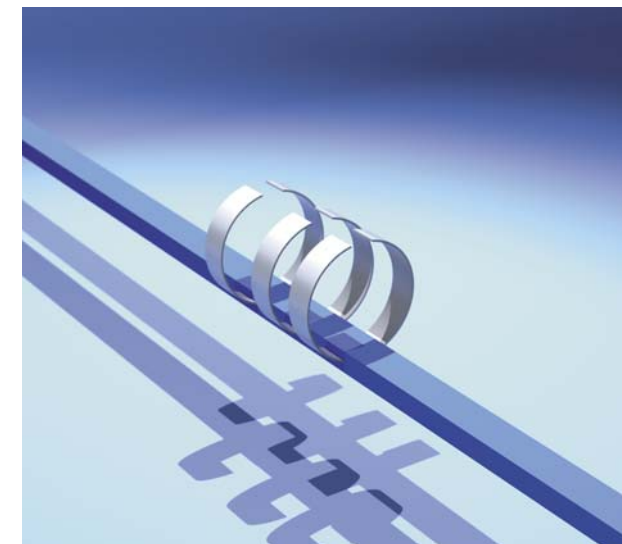
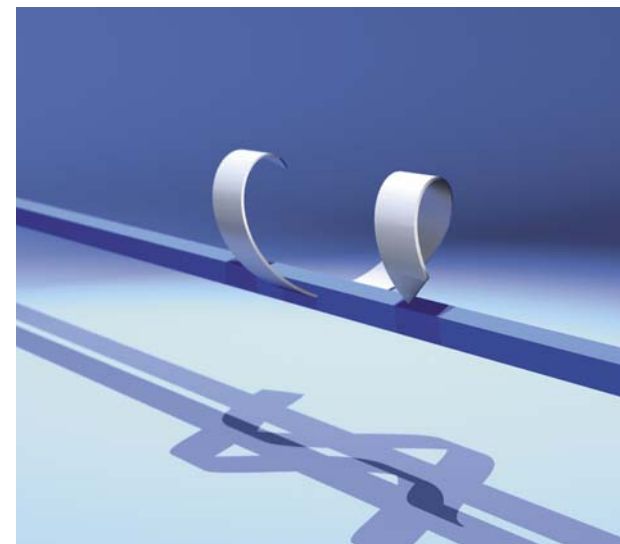
Метаматериалы (от греч. *мета* – за пределами, *сверх*) – искусственно структурированные материалы с необычными свойствами, которые отсутствуют у природных материалов. В настоящее время разрабатываются электромагнитные, акустические, механические, сейсмические и квантовые метаматериалы.

Применение электромагнитных метаматериалов с отрицательным коэффициентом преломления уже позволило улучшить параметры антенн, фазированных антенных решеток, поляризаторов, фильтров, поглощающих покрытий – «черных дыр», неотражающих покрытий. Метаматериалы используются для разработки принципиально новых устройств – сверхлинз и экранов невидимости. Результаты, достигнутые в этой области, не только вошли в десятку выдающихся достижений первого десятилетия нашего века по версии журнала «*Science*», но и были признаны журналом «*Materials Today*» одними из десяти высших достижений материаловедения за последние 50 лет

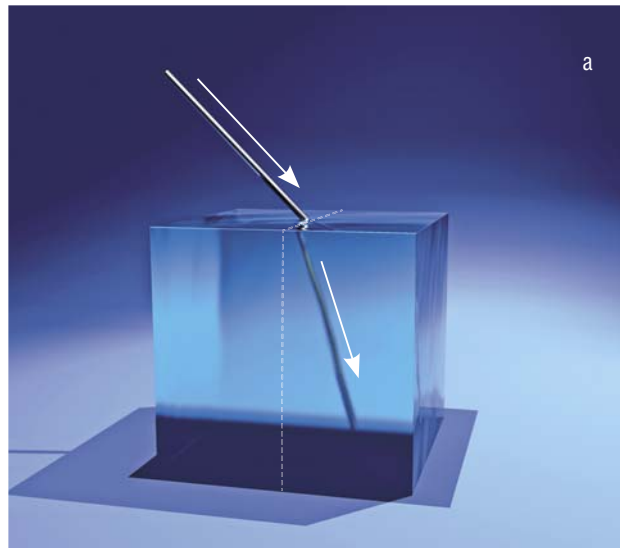
Электромагнитные свойства обычных материалов определяются их атомами и молекулами, а точнее тем, как электроны в них взаимодействуют с электромагнитной волной. В отличие от обычных материалов, строительными блоками метаматериалов (сверхматериалов) являются более крупные, искусственно созданные объекты – электромагнитные резонаторы – обычно в виде металлических полосок, разорванных колец, спиралей, размеры которых существенно меньше длины волны. Когда частота падающей электромагнитной волны близка к резонансной, в резонаторах возникает достаточно большие токи, которые генерируют вторичное электромагнитное поле, усиливающее или ослабляющее исходную волну. Благодаря этому в метаматериалах все не так, как в обычных материалах. Коэффициент преломления может принимать отрицательные и практически нулевые значения, становятся обращенными эффекты Доплера и Вавилова–Черенкова. Можно не только задавать свойства метаматериалов, но и динамично их изменять, включая или выключая заданные резонаторы, тем самым, изменяя условия резонанса. Перспективы беспрецедентного управления электромагнитным излучением с помощью таких материалов послужили стимулом к интенсивной работе для большого числа научно-исследовательских лабораторий в мире, публикующих около 1000 статей в год.

Потенциальные способы применения метаматериалов охватывают все области, в которых используется электромагнитное излучение – от космических систем до медицины. Фактически формируется целая новая отрасль. Министерство обороны США финансирует более 120 малых предприятий и фирм по разработке приборов и устройств на основе метаматериалов (SBIR/STTR program, U.S. Department of Defence). Благодаря усилиям разработчиков метаматериалов разных стран уже решены многие проблемы

Ключевые слова: метаматериалы, отрицательный коэффициент преломления, сверхлинза, экран невидимости.
Key words: metamaterials, negative refractive index, superlens, invisibility shield



Примеры формирования трехмерных микрорезонаторов при отсоединении от подложки напряженных полосок полупроводник–металл. Технология разработана в Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН



Схематичная иллюстрация преломления света в системах: воздух–обычный материал с положительным коэффициентом преломления (а); воздух–метаматериал с отрицательным коэффициентом преломления (б)

для терагерцовой области, в которой отсутствовали устройства управления излучением. Революционные изменения ожидаются по завершении разработок сверхлинз с разрешением много меньшим длины волны излучения, поляризаторов и экранов невидимости, в которых свет, благодаря особым условиям преломления, огибает окруженный метаматериалом предмет, делая его невидимым.

Теоретические основы электромагнитных метаматериалов с отрицательным коэффициентом преломления были заложены российскими учеными и, прежде всего, профессором В.Г. Веселаго, который более 40 лет назад (!) предположил существование метаматериалов с отрицательным коэффициентом преломления и описал концепцию сверхлинз. К сожалению, этот выдающийся результат не нашел тогда своего практического применения, показав, в очередной раз, что сила российских ученых – в фундаментальной науке, а слабость – в технологии, для развития которой необходимо оборудование и интерес промышленности к новым разработкам.

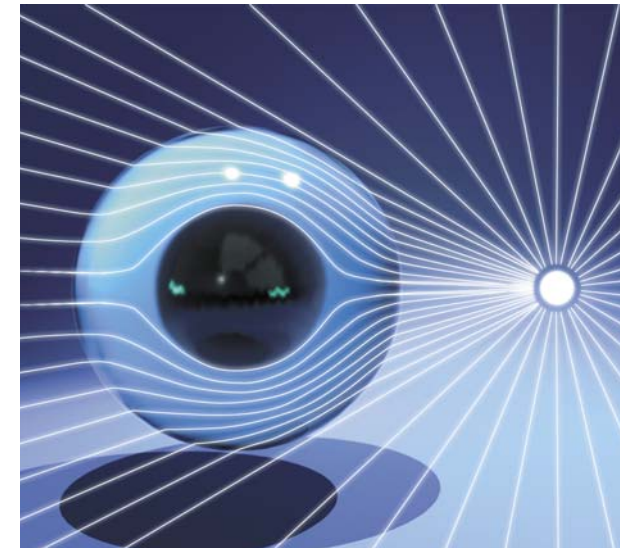
Сейчас теоретические работы в России продолжаются А. Н. Лагарьковым, А. К. Сарычевым, А. П. Вино-

градовым (Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Москва), П. А. Беловым (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики) и другими.

Практический интерес к метаматериалам инициировал в 2000 г. профессор Джон Пендри (Англия), и в том же году американский ученый Дэвид Смит с сотрудниками создал метаматериал с отрицательным коэффициентом преломления в СВЧ-области. В 2006 г. Джон Пендри с коллегами и Ульф Леонхард сообщили о возможности создания экранов невидимости, а спустя пять месяцев Дэвид Смит и Дэвид Шуриг создали такой экран, работающий на резонансной частоте в СВЧ-области.

Выбор СВЧ-области в первых работах не случаен: при сантиметровой длине волны плоские резонаторы должны иметь размер около миллиметра и могут быть изготовлены без привлечения высоких технологий.

В настоящее время значительные усилия в мире направлены на создание терагерцовых, инфракрасных и оптических метаматериалов и систем, для которых

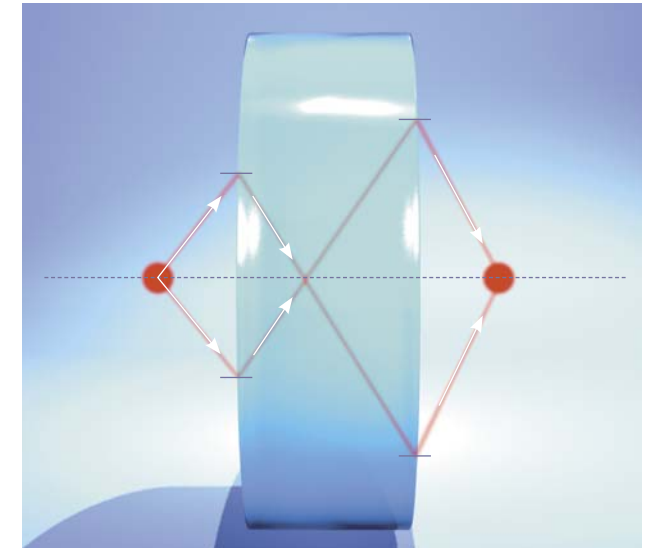


Схематичная иллюстрация огибания лучами предмета, окруженного метаматериалом

требуются массивы периодически расположенных резонаторов микронных и нанометровых размеров. В России такой активности почти нет. Это связано с отсутствием в научных группах необходимого оборудования: установок микро- и нанолитографии, систем для прецизионной химической обработки материалов и измерительной техники.

В Новосибирском Академгородке, благодаря объединению в рамках интеграционного проекта возможностей трех институтов Сибирского отделения РАН – Института физики полупроводников, Института ядерной физики и Института неорганической химии, удалось разработать новые терагерцовые метаматериалы, превосходящие по функциональным параметрам зарубежные аналоги. В них вместо плоских резонаторов, применяемых в качестве индивидуальных резонаторов, были использованы трехмерные.

Трехмерные резонаторы в виде микроспиралей позволили не только упростить реализацию отрицательного коэффициента преломления и достичь рекордной оптической активности метаматериала, но и открыть возможность динамического управления его свойствами. При толщине слоя спиралей в десять



Построение хода лучей в собирающей линзе на основе плоскопараллельной пластины из метаматериала с отрицательным коэффициентом преломления. У такой линзы отсутствует фокальная плоскость – это означает, что она создает объемное изображение. С помощью такой линзы возможна передача изображений с разрешением, много меньшим длины волны

раз меньшей длины волны плоскость поляризации проходящего электромагнитного излучения вращается на угол до 36° .

Важно отметить, что разработанная технология самоформирования трехмерных резонаторов с размерами от сотен микрон до нескольких нанометров, позволяет создавать изотропные, анизотропные киральные, магнитные, гибкие и не гибкие метаматериалы для широкого диапазона электромагнитного спектра излучения – от СВЧ до оптического.

Очевидно, что в ближайшие годы следует ожидать создания принципиально новых приборов и устройств на основе метаматериалов, возможности которых только начинают раскрываться и использоваться.

Пендри Дж., Смит Д. В поисках суперлинзы // В мире науки. 2006. № 11.

Shalaev V.M., Cai W. Optical Metamaterials: Fundamentals and Applications. Springer Science+Business Media, 2010.