



РОССИЙСКИЙ КВАНТОВЫЙ ЦЕНТР

Для увеличения сигнала на ту же магнитную пленку наносится дополнительно слой металла, например золота. Полученный «сэндвич» — подложка из немагнитного материала в 500 микрон, магнитная пленка толщиной несколько микрон и решетка золота толщиной всего около сотни нанометров — образует магнито-плазмонный кристалл. Кристалл помещается во внешнее магнитное поле, снова возникает асимметрия во вращении намагниченности, но считывается эта асимметрия уже при помощи пучка света. Свет падает на структуру, отражается от нее или проходит через нее — интенсивность света и его поляризация меняются в зависимости от намагниченности. Регистрируя свойства света, прошедшего через материал или отраженного от него, ученые получают информацию о том, что происходит с намагниченностью пленки. А это позволяет подчитать параметры внешнего магнитного поля.

**ГОРЯЧЕЕ СЕРДЦЕ** Такие сенсоры могут применяться в устройствах для МКГ вместо СКВИДов (сверхпроводниковых квантовых интерференционных датчиков). СКВИД — это преобразователь магнитного потока в электрический сигнал. На основе таких датчиков можно сделать приборы для измерения любых физических величин, которые можно преобразовать в магнитный поток. СКВИДы имеют чрезвычайно низкий уровень собственных шумов — они работают на основе квантовых эффектов и при очень низкой температуре ( $-269^{\circ}\text{C}$ ). У датчиков, которые будут созданы в РКЦ, чувствительность составит  $10^{-14}$  Тл в частотной полосе 1 Гц (магнитное поле измеряется в теслах, а частота, на которой ведутся замеры, — в герцах) — столько же, сколько у СКВИДов. Но СКВИДы работают при температуре жидкого гелия, а новые сенсоры смогут быть столь же точны при комнатной температуре. А еще они будут дешевле — до 300 тыс. руб., тогда как применяемые в медицине СКВИД-магнитометры стоят миллионы, говорит профессор Белотелов. Дороговизна СКВИД-магнитометров в основном обусловлена высокой стоимостью системы охлаждения до гелиевых температур.

Каким образом датчикам, созданным группой Белотелова, удастся сравниться по точности со СКВИДом? Все дело в том, что намагниченности разных участков пленки оказываются скоррелированными (взаимосвязанными) и все ее участки одновременно дают вклад в измерение магнитного поля, обеспечивая высокую энергию взаимодействия даже с ультрамалыми магнитными полями. За это ответственно обменное взаимодействие. Это исключительно квантовый эффект, который исчезает при переходе к классической механике. Однако расстояние, на котором намагниченности разных атомов пленки еще скоррелированы, обычно не столь велико. Исследователям из РКЦ удалось его существенно увеличить за счет использования пленок феррита-граната с высочайшим качеством кристаллической решетки, а также за счет правильно подобранной формы и состава.

Проблема и в том, что для точной диагностики МКГ с помощью СКВИДов нужен «чистый» фон без электромагнитных помех, а это сложно обеспечить в обычном кабинете поликлиники с самым разным оборудованием и пациентами, которые забывают отключать телефоны. Чтобы исключить влияние на МКГ-систему внешних помех, необходимо использовать магнитоэкранированные камеры. Еще и из-за этого СКВИДы очень дороги, и поэтому МКГ мало используют в клиниках. Датчики, тестируемые в РКЦ, смогут работать в неэкранированном пространстве, если объ-

единить сенсоры в матрицу. Тогда МКГ-обследования, которые основаны на бесконтактном методе, можно будет проводить массово. Это важно, так как МКГ позволяет выявить многие опасные сердечные заболевания задолго до того, как их сможет «увидеть» ЭКГ.

Более сложный сенсор нужен для того, чтобы визуализировать магнитное поле. Такие измерения с высоким пространственным разрешением требуются, когда нужно составить карту магнитного поля, а не только рассчитать его значение по всей площади пленки — кругу диаметром 1 см. И здесь магнитооптический подход оказывается вне конкуренции. Чтобы понять, как магнитное поле в одной точке отличается от поля в другой точке, на расстоянии нескольких микрометров, нужно сфокусировать лазерный луч в пятно размером несколько микрон и перемещать его по магнитной пленке.

Такие датчики можно будет применить для магнитной энцефалографии — регистрации магнитных полей в коре головного мозга. В этой сфере разработке также предстоит вытеснить СКВИДы, но о параметрах чувствительности сенсоров и их цене пока говорить рано. У ученых РКЦ уже есть модели сенсора и созданы магнито-плазмонные кристаллы. Сейчас идут эксперименты с составом и формой материала, которые позволят добиться максимальной чувствительности и пространственного разрешения.

**ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ** У магнитных датчиков с высокой чувствительностью много потенциальных сфер применения. Например, в биомедицинской сфере сенсоры могут помочь проводить более эффективно клеточный иммуноферментный анализ. Такой метод диагностики предусматривает, что магнитные наночастицы используют в качестве меток: они прикрепляются к антителам, которые распознают соответствующие им антигены. Сенсоры могут позволить более точно определить, как взаимодействуют антиген и антитело, проанализировав характеристики возникающего магнитного поля прикрепленных к ним наночастиц.

Другая область внедрения — обеспечение связи под землей или под водой на больших расстояниях. Например, сейчас подложки «общаются» между собой или с объектами на берегу по радиоволнам на сверхнизких частотах. Чтобы принимать такие сигналы, используют громоздкие магнитные антенны. Новые сенсоры размерами несколько сантиметров будут куда удобнее. К тому же возможно их применение в системах неразрушающего контроля: от систем для огромных труб до систем для микросхем. Вне зависимости от масштаба объекта, в котором нужно вовремя обнаружить дефект, сенсоры смогут работать по единому принципу — регистрации изменений магнитного поля.

Коллектив господина Белотелова получил грант от Российского научного фонда (РНФ) в 75 млн руб. на три года (первый транш в 25 млн руб. был получен в сентябре 2014 года) на фундаментальные исследования и разработку сенсоров для магнитокардиографии. До конца 2016 года, согласно задачам проекта РНФ, сенсоры для магнитокардиографии должны получить заявленный уровень чувствительности. В планах ученых — за два года увеличить чувствительность этих сенсоров в десять раз. Для проекта развития сенсоров для визуализации магнитного поля исследователи РКЦ надеются представить экспериментальный образец новых сенсоров до конца 2017 года. ■

**В БИМЕДИЦИНСКОЙ СФЕРЕ  
СЕНСОРЫ МОГУТ ПОМОЧЬ  
ПРОВОДИТЬ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНО  
КЛЕТОЧНЫЙ ИММУНОФЕРМЕНТНЫЙ  
АНАЛИЗ**

