

Температура на поверхности фторопластовой пластине составляла около 30,3 °С, а в отверстиях с тепловым излучением от ладони 34,5 °С. Представленные результаты тепловизионных исследований показали, что пленка нанопористого оксида алюминия, расположенная на фторопластовой пластине толщиной 5 мм, обеспечивает эффективное экранирование теплового излучения тела человека. При этом регистрируемое изменение разницы температур от биообъекта при наличии и отсутствии анодной пленки составляет не менее 4–5 градусов. Несмотря на оптическую прозрачность в видимом диапазоне, пленки нанопористого анодного оксида алюминия заметно ослабляют пропускание излучения в среднем ИК диапазоне ( $\lambda = 8\text{--}14$  мкм), что может позволить использовать их в качестве фильтров для поглощения излучения биообъектов.

Проведенные исследования показали, что пленки нанопористого анодного оксида алюминия имеют хорошие теплоизоляционные и экранирующие свойства для ИК излучения в области длин волн 8–14 мкм и могут быть использованы в качестве теплозащитных экранов для сглаживания контраста тепловых излучений объекта и окружающего фона и для повышения эффективности тепловой маскировки объектов. В результате нагретый объект на тепловом фоне теряет контрастность и становится малозаметным.

#### Список использованных источников

1. Masuda H., Abe A., Nakao M., et. Al. Ordered mosaic nanocomposites in anodic porous alumina // Journal of Advanced Materials. 2003. № 15(2). P.161–164.
2. Напольский К.С. Синтез пространственно-упорядоченных металл-оксидных нанокмозитов на основе пористого оксида алюминия. Описание задач спецпрактикума «Методы получения и анализа неорганических материалов. М.: МГУ, 2011, 31 с.
3. Врублевский, И.А. Структура пленок пористого оксида алюминия, формируемых в электролитах на основе органических кислот / И.А. Врублевский, С.К. Дик, А.С. Терех и др. // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – Т. 12, № 3. – С. 101–105.

## МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

*Сергеенко В. С.*

*Данилюк А. Л. – канд. физ.-мат. наук, доц.*

Эффект гигантского магнитосопротивления, наблюдаемый в большом числе магнитных многослойных структур, состоящих из чередующихся ферромагнитных и проводящих немагнитных слоёв, привлек значительный интерес в течение последних лет в сферах фундаментальных и прикладных исследований. Данный эффект наблюдается во многих многослойных магнитных структурах, в которых магнитные слои разделены немагнитными металлическими слоями толщиной порядка 10-20 ангстрем (Fe/Cr/Fe, Co/Cu/Co, Fe/Cu/Fe, NiFe/Cu/NiFe и др.). В настоящее время широко признано, что основным механизмом этого эффекта является когерентное спин-зависимое рассеяние электронов. С теоретической точки зрения природа магнитосопротивления анализировалась с помощью квазиклассических подходов и квантово-статистического формализма Кубо. Магнитосопротивление обычно больше в антиферромагнитной конфигурации, т. е. когда направления намагниченностей соседних слоёв антипараллельны, и уменьшается под действием магнитного поля, индуцирующего переход в параллельную конфигурацию.

Физической основой рассматриваемых эффектов является явление спин-зависимого рассеяния электронов (spin-depend scattering). При этом существенно то, что длина свободного пробега электрона без изменения спина в многослойной структуре много больше толщины каждого из слоёв.

Существуют несколько подходов к теоретическому описанию магнитосопротивления многослойных наноструктур. Основные существенные детали могут быть учтены в модели, в рамках которой принимается, что при антипараллельной ориентации намагниченностей в соседних магнитных слоях электроны с фиксированными спинами имеет различные химические потенциалы в зависимости от того, параллелен или антипараллелен спин по отношению к намагниченности данного слоя с учетом шероховатость возникающих потенциальных барьеров.

Наиболее точно учет квантовых эффектов рассеяния электронов на границах раздела, а также в ферромагнитных слоях производится с помощью формализма функций Грина, в котором проводимость в направлении, перпендикулярном плоскости наноструктуры имеет вид

$$\sigma(Z) = \frac{\hbar e^2}{\pi N \alpha_0^4} \int \int_0^D dZ dZ' \left\{ \sum_R v_R^2 G_R(Z, Z', E + i0) G_R(Z', Z, E - i0) \right\}_{E=E_F}$$

где  $\alpha_0$  – постоянная решетки,  $Z$  – координата в плоскости многослойной наноструктуры;  $D$  – общая толщина наноструктуры;  $N$  – соотношение между длинами свободного пробега электронов со спином вверх и спином вниз в материале первого слоя;  $v_R$  – компоненты скорости электронов в плоскости структуры;  $R$  – компоненты импульса электронов в плоскости структуры; функция Грина  $GR(Z, Z')$  является решением дифференциального уравнения Шредингера с дискретным энергетическим спектром  $E$ .

Исходя из условий непрерывности функций  $G(Z, Z')$  и  $(\partial G / \partial Z)$  на внутренних интерфейсах получают уравнения для расчета функций Грина и проводимости многослойных наноструктур. На рисунке 1 представлены результаты оценочного расчета изменения проводимости структуры, состоящей из трех слоев различной толщины.

Как можно видеть из полученных результатов, зависимость проводимости от толщины носит немонотонный характер, что может быть использовано для оптимизации величины магнитосопротивления многослойных наноструктур.

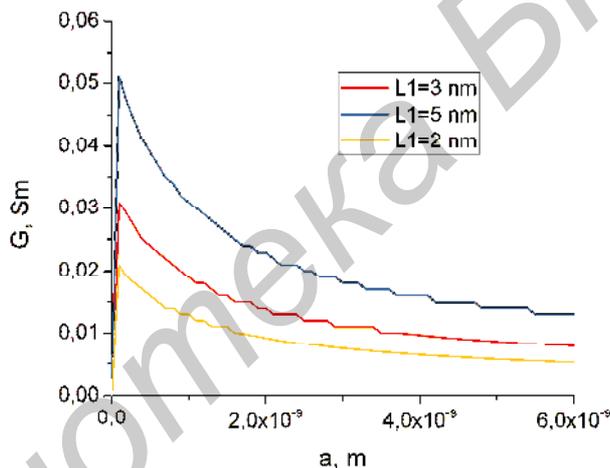


Рисунок 1 – Проводимость трехслойной структуры в зависимости от толщины первого ферромагнитного слоя  $a$ :  $L1$  – длина свободного пробега для электронов со спином вверх в материале первого слоя

## АДСОРБЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ГРАНИЦЕ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩЕГО РАСТВОРА И КРЕМНИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Рудь М.П.

Петрович В.А. – канд. физ.-мат. наук, доц.

В настоящее время развитие технологии производства литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов является одной из актуальных задач в области электроники и автомобилестроения. Основным материалом для анода в таких батареях служит графит, однако на данный момент продолжается поиск новых материалов с большей сорбционной емкостью ионов лития, что позволит сократить время заряда батареи и увеличить продолжительность ее работы.