

Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что нерезонансное поглощение электрической компоненты электромагнитного поля СВЧ в пенопласте незначительно. Измерения магнитного резонанса показывают, что материал относится к радиопрозрачному и не вносит магнитных и электрических потерь.

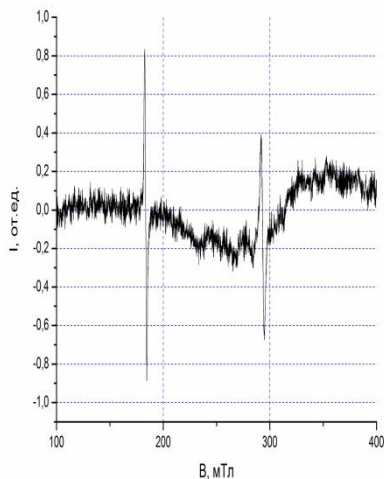


Рисунок 2 – Спектр ЭПР, полученный от пенопласта марки «Акримид»

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что пенопласт марки «Акримид», получаемый технологией вспенивания на основе поли(мет)акриламида пригоден для создания радиопрозрачных диэлектрических покрытий.

#### Литература

1. Зильберман, Е.Н., Новолокина, Р.А. Примеры и задачи по химии ВМС./ Е.Н. Зильберман, Р.А. Новолокина. – Москва: Высшая школа. – 1984. – 224 с.
2. Дорофеев, С.П., Окунев, П.А., Тараканов, О.Г. Пенопласты из сополимеров акрилонитрила / С.П. Дорофеев, П.А. Окунев, О.Г. Тараканов // Пластмассы. – 1972. – №8. – С.25-26.
3. Бессонов, М.И., Котон, М.М., Кудрявцев, В.В., Лайус, Л.А. Полиимиды – класс термостойких соединений/ М.И. Бессонов, М.М. Котон, В.В. Кудрявцев, Л.А. Лайус. – Л.:Наука. – 1983. – 328 с.
4. Iyer, B., Mathakiya, I., Shah, A., Rakshit, A. Terpolymers of acrylamide, acrylic acid and acrylonitrile: further characterization and biodegradation studies / B.Iyer, I. Mathakiya, A. Shah, A. Rakshit // Pol. International. – 2000. – V.49. – P.685-690.

УДК 539.2

### МАГНИТОРЕЗОНАНСНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОРОШКА Y-Ba-Cu-O

Адашкевич С.В.<sup>2</sup>, Бакаев А.Г.<sup>1</sup>, Маркевич М.И.<sup>1</sup>, Стельмах В.Ф.<sup>2</sup>, Чапланов А.М.<sup>1</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Практическое применение эффекта сверхпроводимости ограничено вследствие необходимости низких температур, существования критических полей и критического тока [1–3]. Однако в некоторых областях физики сверхпроводники получили распространение, с использованием сверхпроводников создаются сильные магнитные поля для удержания плазмы в установках по управляемому термоядерному синтезу [1, 2].

В течение длительного времени усилия работающих в области сверхпроводимости, были направлены на поиск материалов с высокой критической температурой (высокотемпературная сверхпроводимость - ВТСП). Следует отметить, что открытие ВТСП материалов стало мощным стимулом разработки элементов сверхпроводниковой электроники и их использования в телекоммуникационной, приборной, компьютерной и медицинской технике [1–3]. В настоящее время разработаны, изготовлены и испытаны макеты ячейки памяти, сверхчувствительный элемент считывания на

ВТСП пленках с существенным снижением энерговыделения по сравнению с полупроводниковыми усилителями считывания, сверхскоростные линии связи, которые позволяют увеличить производительность систем в 10–100 раз. Внедрение ВТСП в вычислительную технику приводит к увеличению ее быстродействия и степени интеграции.

Широкие перспективы использования ВТСП открываются в СВЧ-технике и в создании датчиков видимого и ИК диапазона с высокой чувствительностью. Таким образом, возможности практического использования ВТСП-материалов в целом, и в частности керамики Y-Ba-Cu-O остаются многообещающими для микроэлектроники, медицины, эффективных систем производства, накопления и передачи энергии.

Целью данной работы является установление особенностей магниторезонансного поглощения СВЧ энергии керамикой Y-Ba-Cu-O.

Исследования морфологии образцов проводилось с помощью сканирующего

электронного микроскопа SEM 515, имеющего систему энергодисперсионного (EDS) микроанализа в состав которой входят Si(Li) детектор со сверхультратонким окном, охлаждаемый жидким азотом, компьютер и пакет программного обеспечения Genesis SEM Quant ZAF software, использующий матрицу ZAF коррекции при осуществлении качественного и количественного анализа [4]. Измерения проводились при значениях ускоряющего напряжения от 6,4 до 30 кВ.

Из излучаемого любым образцом рентгеновского спектра можно извлечь два вида данных: длину волны (или энергию) и количество рентгеновских лучей, излученных образцом за единицу времени. Измерение длины волны (или энергии) каждого характеристического рентгеновского луча позволяет определить, какие элементы имеются в образце, т.е. провести качественный анализ. Измерение же количества рентгеновских лучей, излученных в единицу времени, позволяет провести количественный анализ.

Исследования магнитного резонанса проводились на специализированном малогабаритном анализаторе ЭПР «Минск 22» при комнатной температуре. Рабочая длина волны – 3 см. Максимальное значение индукции магнитного поля – 450 мТл, частота модуляции – 30 кГц. Для калибровки интенсивности сигналов объектов исследования использовался образец из монокристалла рубина ( $Al_2O_3:Cr^{3+}$ ).

В процессе измерений дополнительный контроль стабильности работы спектрометра осуществлялся путем измерения калибровочного материала двухвалентного марганца ( $MgO:Mn^{2+}$ ).

На рисунке 1 представлена морфология керамики Y-Ba-Cu-O, полученная в результате исследований с помощью сканирующего электронного микроскопа.

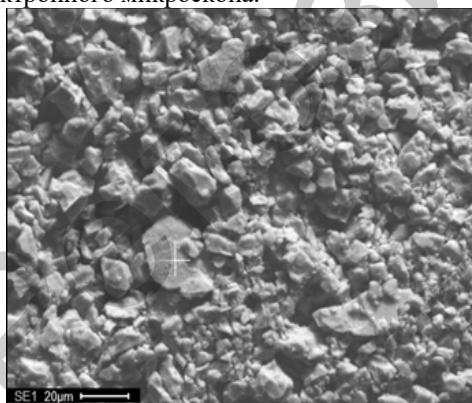


Рисунок 1 – Морфология поверхности материала

Из рисунка следует, что данный материал имеет неоднородную структуру порошка. Размер частиц составляет 5–35 мкм.

В результате дальнейших исследований были получены рентгеновские спектры керамики Y-Ba-Cu-O (рисунок 2).

Установлено, что элементный состав соответствует керамике Y-Ba-Cu-O.

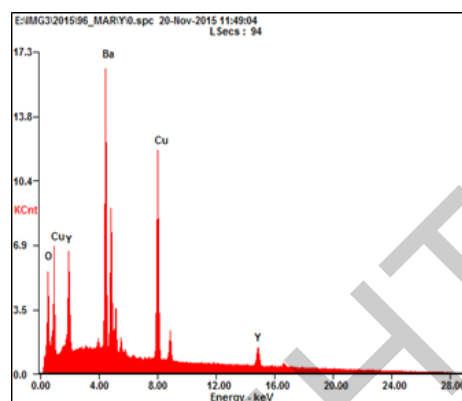


Рисунок 2 – Элементный состав поверхности материала

На спектре магнитного резонанса (рисунок 3) присутствует широкая резонансная линия в области эффективного g-фактора  $2,24 \pm 0,01$ . Ширина линии составляет ~ 104,9 мТл. Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что нерезонансное поглощение электрической компоненты электромагнитного поля СВЧ в керамике значительно.

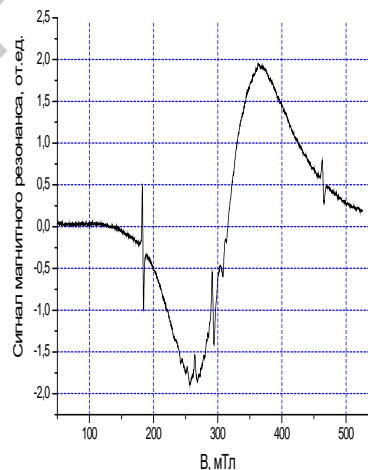


Рисунок 3 – Спектр электронного парамагнитного резонанса керамики Y-Ba-Cu-O

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что спектры порошка Y-Ba-Cu-O представляют собой неоднородно уширенные широкие линии с эффективным значением g-фактора  $2,24 \pm 0,1$  и шириной 104,9 мТл, что свидетельствует о высокой концентрации магниторезонансных центров и высоком резонансном поглощении

энергии СВЧ поля, нерезонансное поглощение также является значительным.

Литература

1. Polak, M., Kottman P., Majoros M. [et al.] Magnetic field distribution above a superconducting YBaCuO sample as an indication of sample inhomogeneities / M. Polak, P. Kottman, M. Majoros M. // Superconductor Science Technology. – 1990. – V. 3. – P. 67.

2. Hagen, C.W., Griessen, R.P., Salomons, E. Thermally activated flux motion in high Tc superconductors: an analytical model / C.W. Hagen, R.P. Griessen, E. Salomons // Physica C. – 1989. – V. 157. – P. 199.

3. Буев, А.Р. Исследование высокотемпературной высокопроводимости с помощью нового бесконтактного метода / А.Р. Буев // Известия вузов. Поволжский регион. – 2004. – № 5. – С. 98-104.

УДК 621.382

## О КВАНТОВАНИИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ В КАНАЛЕ КОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Жевняк О.Г., Жевняк Я.О.

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Как хорошо известно, в инверсионных слоях кремния возникает квантование энергии электронов в связи с тем, что средняя толщина этих слоев (около 10 нм) сравнима с длиной волны де Бройля электронов [1]. Форма квантовой ямы инверсионного слоя имеет треугольный вид, в результате чего расчет квантовых состояний электронов возможен только с помощью численного решения уравнения Шрёдингера для треугольной ямы [1, 2]. Проводящий канал короткоканальных МОП-транзисторов, являющихся основным элементом современных микропроцессоров, по сути представляет собой обедненную область на поверхности кремния, включающую в себя и инверсионный слой (если он сформируется). В этой связи квантование энергии электронов в инверсионном слое кремния может оказывать определенное влияние на характеристики МОП-транзисторов. Однако короткоканальный эффект, обусловленный сравнимостью размеров областей истока и стока транзистора с его длиной канала, может значительно исказить это влияние [3, 4]. В связи с тем, что затворное и стоковое напряжения в МОП-транзисторе включены навстречу друг другу, и глубина стоковой области достаточно велика, квантование энергии электронов в определенных участках канала будет исчезать, так как в них будет наблюдаться существенное расширение проводящего канала – до размеров заметно больших длины волны де Бройля электронов [4].

Целью настоящего доклада явилось изучение условий, при которых квантование энергии электронов в канале короткоканального МОП-транзистора будет существенным. В основе данного изучения лежит двухэтапная схема. Вначале проводилось численное моделирование электронного переноса в канале МОП-транзистора с помощью метода Монте-Карло (см., например, [3-5]). В результате моделирования путем численного решения уравнения Пуассона и

кинетического уравнения Больцмана рассчитывались потенциальные профили  $U(z)$  проводящего канала в глубь подложки МОП-транзистора. Далее для выбранных профилей осуществлялось численное решение уравнения Шрёдингера в виде:

$$\psi'' + 2m/\hbar^2 (E - U(z))\psi = 0.$$

Профиль  $U(z)$  аппроксимировался линейной функцией, что позволяло решить уравнение Шрёдингера с помощью степенных рядов (см., например, [6]) и рассчитать энергетические уровни. Если расстояние между ближайшими уровнями заметно превышало величину  $k_B T$ , то в яме возникало размерное квантование, в противном случае – оно отсутствовало.

На рис. 1 приведена схема моделируемого МОП-транзистора. Рассматривались два типа приборов – с глубоким (стандартным) стоком (глубина залегания  $x_j = 0,1$  мкм) и мелким стоком ( $x_j = 0,01$  мкм). Напряжение на стоке  $V_D = 1$  В, а напряжение на затворе  $V_G = 1$  В и  $V_G = 3$  В. Остальные параметры транзистора были следующими:  $L_{ch} = 0,4$  мкм,  $d_{ox} = 6$  нм,  $N_D = 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ,  $N_A = 5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ .

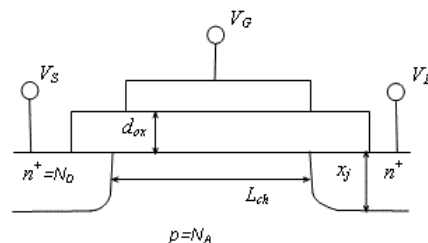


Рисунок 1 – Схема конструкции моделируемого МОП-транзистора

На рисунках 2 – 3 приведены полученные в результате моделирования профили для двух сечений канала в глубь подложки: в начальной части канала (на расстоянии около  $0,2 L_{ch}$  от истока) – штриховые кривые и вблизи стока (около  $0,1 L_{ch}$  от стока) – непрерывные кривые.