

07;12

Модулятор ИК-излучения на эффекте магнитопропускания в манганите лантана, работающий вблизи комнатной температуры

© Ю.П. Сухоруков, Н.Н. Лошкарева, А.В. Телегин,
Е.В. Мостовщикова, В.Л. Кузнецов, А.Р. Кауль,
О.Ю. Горбенко, Е.А. Ганьшина, А.Н. Виноградов

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург
E-mail: suhorukov@imp.uran.ru
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию 12 мая 2003 г.

Изготовлен макет и измерены оптические характеристики модулятора инфракрасного излучения, работающего на основе эффекта гигантского магнитопропускания света в пленке $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ вблизи комнатной температуры при $T = 303$ К. Глубина модуляции модулятора меняется от 3.5 до 6.5% в диапазоне длин волн от 1.4 до $11\ \mu\text{m}$. Показана возможность увеличения глубины модуляции модулятора.

Обнаруженные нами эффекты гигантского магнитопропускания (MT-magnetotransmission) и существенного температурного изменения вблизи температуры Кюри (T_C) интенсивности прошедшего через манганит инфракрасного (ИК) излучения показали, что среди оптических материалов ИК-области спектра появился новый функциональный материал, оптические свойства которого существенно зависят от изменения магнитного поля и/или температуры [1–4]. Эффекты наблюдались в монокристаллах и эпитаксиальных пленках манганатов различного состава. Величина MT достигала нескольких десятков процентов, что позволило сделать предположение о возможности широкого применения обнаруженных эффектов в оптоэлектронике, в том числе при создании магнитоуправляемого модулятора ИК-излучения.

Ранее большой эффект изменения ИК-поглощения в магнитном поле (магнитопоглощение) был обнаружен нами в магнитной полупроводниковой шпинели HgCr_2Se_4 [5]. Магнитопоглощение (или магнитопропус-

кание) в HgCr_2Se_4 объяснялось особенностями зонной структуры, обусловленными взаимодействием свободных носителей заряда с локализованными магнитными моментами ионов Cr^{3+} . Для $n\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$ максимум эффекта наблюдался при T_C для $p\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$ при $T < T_C$. Температура Кюри HgCr_2Se_4 и, следовательно, рабочая температура модулятора была довольно низкой $T_C = 115$ К. В манганитах в зависимости от вида легирования T_C может изменяться в диапазоне температур от 80 до 360 К, следовательно, модулятор на основе магнитопропускания света в манганите может работать и при комнатной температуре. В настоящей работе предложен модулятор инфракрасного излучения на основе эффекта гигантского магнитопропускания в пленке манганита $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$, работающий вблизи комнатной температуры.

Магнитооптический элемент (МЭ) модулятора изготовлен из эпитаксиальной пленки $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ со структурой перовскита толщиной $d = 300$ nm, выращенной на монокристаллической подложке (001) LaAlO_3 со структурой перовскита методом химического осаждения из паровой фазы металлоорганических соединений (MOCVD) при температуре подложки 750°C . Для предотвращения потерь и повышения активности Na в ходе синтеза был произведен отжиг пленки при 750° на воздухе в течение 6 h в засыпке брутто-состава $\text{La}_{0.3}\text{Na}_{0.7}\text{MnO}_3$, полученной методом химической гомогенизации из нитратных растворов. Исследования методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом и рентгеновской дифракции, включая данные φ - и ω -сканирования соответствующих рефлексов пленки и подложки, показали, что полученная пленка является однофазной и обладает высоким структурным совершенством. Структура перовскита в пленке характеризуется ромбоэдрическим искажением (группа $R\bar{3}c$), типичным и для объемных материалов состава $\text{La}_{1-x}\text{Na}_x\text{MnO}_{3+\delta}$ [6]. На поверхности пленки не наблюдались частицы вторых фаз или другие дефекты.

Выбор пленки $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ для создания МЭ был обусловлен ее температурой Кюри $T_C = 303$ К, близкой к комнатной. Температура Кюри была определена по температуре минимума первой производной температурной зависимости экваториального эффекта Керра (transversal Kerr effect — ТКЕ) — аналога температурной зависимости намагниченности. Резкий рост амплитуды в окрестности T_C и большая величина ТКЕ в малом поле $H \sim 3.5$ kOe при $T \sim 100$ К (вставка к рис. 1)

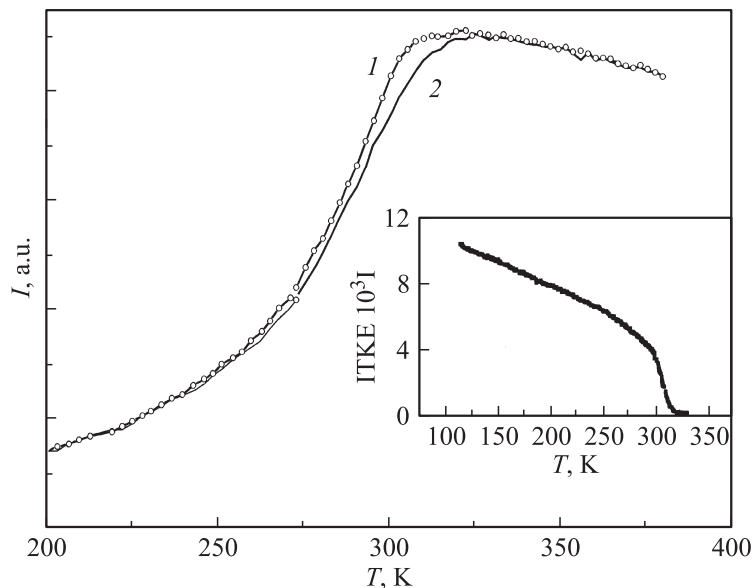


Рис. 1. Температурные зависимости интенсивности прошедшего через пленку $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ света при $\lambda = 8.8 \mu\text{m}$ в отсутствие магнитного поля (1) и в поле 8 kOe (2). На вставке — температурная зависимость ТКЕ при энергии 2.8 eV и в поле 3.5 kOe.

являются характерными для ферромагнетиков. Характер изменения ИК-поглощения в пленках в окрестности T_C и при приложении магнитного поля наглядно демонстрируют температурные зависимости интенсивности прошедшего через пленку света (пропускания), измеренные при длине волны $\lambda = 8.8 \mu\text{m}$ (рис. 1). Существенное увеличение пропускания при $T > 200 \text{ K}$ связано с переходом металл-изолятор в пленке. Внешнее магнитное поле величиной 8 kOe приводит к уменьшению пропускания света пленкой (кривая 2, рис. 1). Относительное изменение пропускания света под действием магнитного поля — магнитопротекание, определяется как $\text{MT} = (Y_0 - Y_H)/Y_0$, где Y_0 и Y_H — интенсивности прошедшего через МЭ света в отсутствие и при наличии магнитного поля. Абсолютная величина МТ в пленке достигает $\sim 9\%$ вблизи T_C при 303–307 K (рис. 2).

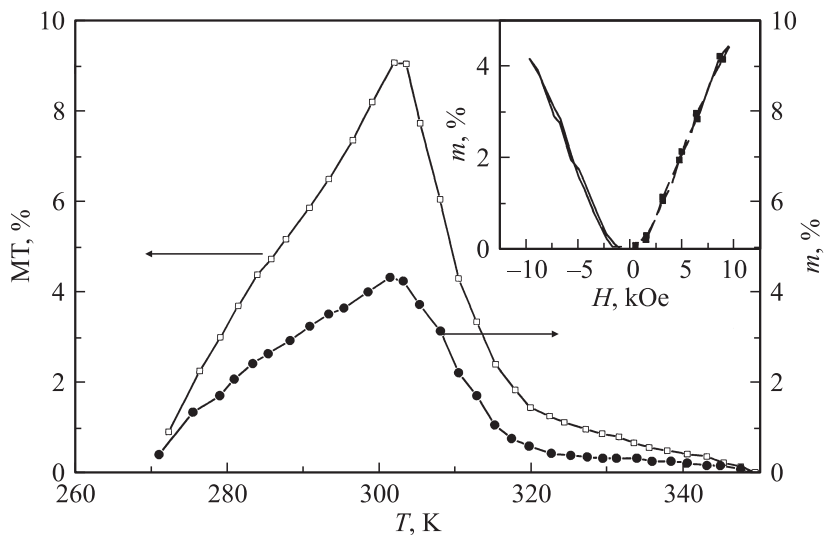


Рис. 2. Температурные зависимости магнитопропускания (левая ось) и глубины модуляции модулятора на основе пленки $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ (правая ось) в магнитном поле 8 кОе и $\lambda = 8.8 \mu\text{m}$. На вставке — полевая зависимость глубины модуляции при 303 К в постоянном поле (сплошная линия) и в переменном магнитном поле (точки) при $\lambda = 8.8 \mu\text{m}$.

Спектр МТ пленки $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$, измеренный при $T = T_C$ (рис. 3) в магнитном поле 8 кОе, показывает наличие большого значения магнитопропускания в широком ИК-диапазоне длин волн от 1.4 до 11 μm . Спектральная зависимость эффекта магнитопропускания с максимумами при длинах волн $\lambda \sim 1.7$ и $\sim 6.5 \mu\text{m}$ и ростом МТ при $\lambda > 8 \mu\text{m}$, вероятно, связана с изменением под действием магнитного поля вклада в поглощение света как делокализованных, так и локализованных носителей заряда [7].

Основной рабочей характеристикой оптических модуляторов является глубина модуляции m , определяемая выражением:

$$m = (Y_{\max} - Y_{\min}) / (Y_{\max} + Y_{\min}) = (Y_H - Y_0) / (Y_H + Y_0),$$

где Y_{\max} , Y_{\min} — максимальная и минимальная интенсивности прошедшего через МЭ излучения [8]. Температурная и спектральная

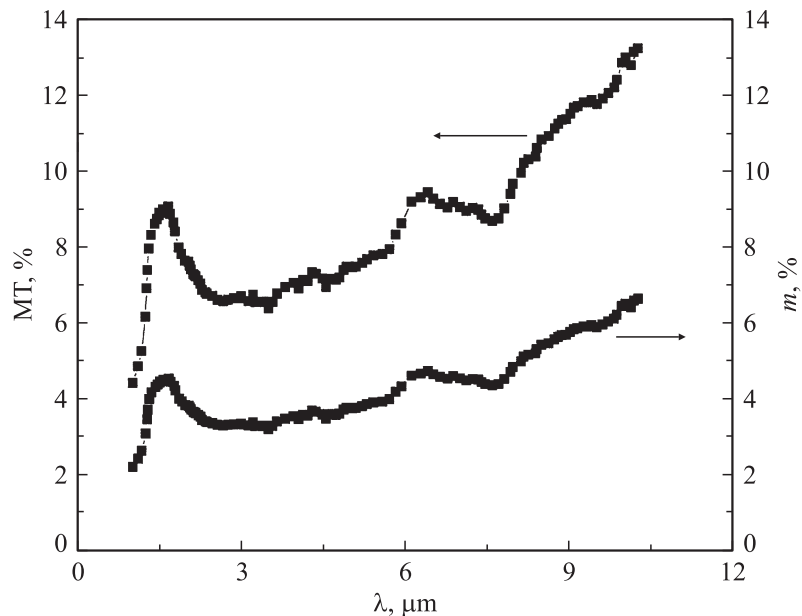


Рис. 3. Спектр магнитопропускания (левая ось) и глубины модуляции модулятора на основе пленки $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ (правая ось) в магнитном поле 8 кОе при температуре 303 К.

зависимости m имеют вид, подобный соответствующим зависимостям МТ пленки $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ (рис. 2, 3). Глубина модуляции достигает максимума $\sim 4.5\%$ при 303 К, т.е. при температуре, близкой к комнатной. Исследование оптических свойств манганитов лантана различных составов показали, что существует возможность значительного увеличения m модулятора. Например, в пленке $\text{La}_{0.7}\text{Na}_{0.3}\text{MnO}_3$ глубина модуляции достигает $\sim 15\%$ при величине магнитопропускания $\sim 30\%$ и температурах, близких к 0°C [3], а в пленке $\text{La}_{0.35}\text{Pr}_{0.35}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ значение m составляет $\sim 25\%$ при МТ $\sim 50\%$ и $T = 175\text{ К}$ [2].

Магнитопропускание света в манганитах является четным по полю эффектом. Это приводит к тому, что промодулированный свет имеет частоту, равную удвоенной частоте источника переменного магнитного поля. Полевая зависимость m показывает, что существует широкий

диапазон магнитных полей, при которых глубина модуляции линейно зависит от магнитного поля (вставка на рис. 2). Величина магнито-пропускания слабо зависит от направления магнитного поля вдоль или перпендикулярно плоскости пленки, что позволяет использовать различные геометрии расположения источника поля и МЭ при создании модулятора.

Полевые зависимости глубины модуляции в переменных магнитных полях частотой до 1 kHz (точки на вставке к рис. 2) показали те же значения m , что и в постоянном магнитном поле (сплошная линия на вставке к рис. 2). Амплитуда модуляции измерялась фотоприемником (CdHgTe) с использованием активного фильтра высоких частот с частотой среза 100 Hz. Быстродействие модулятора на магнитопротекании в манганитах лантана определяется процессами перемагничивания. Данные по прохождению электромагнитных волн в манганитах $\text{La}_{0.67}\text{Pb}_{0.33}\text{MnO}_3$ ($T_C = 347$ K) и $\text{La}_{0.60}\text{Y}_{0.07}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ ($T_C = 319$ K) показали, что при $T = 300$ K и в постоянном магнитном поле 3 kOe увеличение частоты электромагнитного поля до 10 MHz не уменьшает величины магнитосопротивления [9]. Скорость перемагничивания манганита в переменном магнитном поле определяется величиной скин-слоя $\delta = (2\rho/\omega\mu)^{1/2}$, где ρ — удельное электросопротивление МЭ, ω — частота переменного магнитного поля, μ — магнитная проницаемость МЭ. При условии $\delta > d = 300$ nm частота перемагничивания пленки манганита $\text{La}_{0.82}\text{Na}_{0.18}\text{MnO}_{3+\delta}$ при $T = 303$ K может достичь величины $\sim 10^9$ Hz при $\mu \leq 5$ [9] и $\rho = 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$. Однако существуют технические ограничения быстродействия модулятора, связанные с частотными характеристиками источника переменного магнитного поля. Используемый нами источник поля позволил провести модуляцию ИК-излучения на частотах до нескольких кГц.

Модулятор на основе магнитопротекания инфракрасного излучения в манганитах является исключительно простым оптическим устройством, содержащим только магнитооптический элемент из манганита и источник магнитного поля.

Работа была поддержана ФЦНТП (грант 40.012.1.1.1153–7/02), РФФИ (гранты 02–02–16429, 03–02–06032 и 02–03–33258), Проектом ООФА РАН „Оптические и магнитотранспортные явления в манганитах с колоссальным магнитосопротивлением“.

Список литературы

- [1] *Loshkareva N.N., Sukhorukov Yu.P., Gizgevsii B.A.* et al. // Phys. Stat. Sol. (A). 1997. V. 164. P. 863–866.
- [2] *Сухоруков Ю.П., Лошкарева Н.Н., Ганьшина Е.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 3. С. 6–13.
- [3] *Sukhorukov Yu.P., Gan'shina E.A., Belevtsev B.I.* et al. // J. Appl. Phys. 2002. V. 91. N 7. P. 4403–4408.
- [4] *Сухоруков Ю.П., Лошкарева Н.Н., Ганьшина Е.А.* и др. // ЖЭТФ. 2003. Т. 123. В. 1. С. 293–305.
- [5] *Лошкарева Н.Н., Сухоруков Ю.П., Гижевский Б.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 17. С. 83–86.
- [6] *Rao G.H., Sun J.R., Barner K.* et al. // J. Phys.: Condens. Matter. 1999. V. 11. P. 1523–1528.
- [7] *Лошкарева Н.Н., Сухоруков Ю.П., Нейфельд Э.А.* и др. // ЖЭТФ. 2000. Т. 117. В. 2. С. 440–448.
- [8] *Мустель Е.Р., Парыгин В.Н.* Методы модуляции и сканирования света. М.: Наука, 1970. 296 с.
- [9] *Rinkevich A., Nossov A., Ustinov V.* et al. // J. Appl. Phys. 2002. V. 91. N 6. P. 3693–3697.