

Об.3

МОДУЛЯТОР ИК ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА МАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕН.Н. Лошкарева, Ю.П. Сухорук, Ю.П. Сухорук, Ю.П. Сухорук,  
Б.А. Гижевский, А.А. Самохвалов

Среди магнитоуправляемых модуляторов среднего ИК диапазона имеются модуляторы, основанные на эффекте Фарадея в магнитных диэлектриках [1], на эффекте Фарадея на носителях заряда в полупроводниках [2], на изменении поглощения на носителях заряда при совместном приложении постоянного электрического и управляющего магнитного полей к  $\rho$ - $n$  переходу полупроводникового элемента [3]. В настоящей работе описываются параметры модулятора ИК излучения, работа которого основана на новом принципе — магнитопоглощении на носителях заряда в магнитной полупроводниковой шпинели [4].

Предлагаемый модулятор ИК излучения отличается от известных простотой конструкции. Он содержит пластину из магнитной полупроводниковой шпинели, помещенную в катушку управляющего магнитного поля. От фарадеевских модуляторов он существенно отличается тем, что не требует наличия поляризатора и анализатора, от модулятора из [3] — отсутствием  $\rho$ - $n$  перехода, исключением электрического поля и связанной с ним проблемы надежных контактов. Роль магнитного поля в фарадеевском модуляторе заключается в повороте плоскости поляризации, что приводит к изменению пропускания на выходе анализатора. Магнитное поле в [3] изменяет траектории носителей, инжектированных в  $n$ -зону  $\rho$ - $n$  перехода при приложении к нему постоянного электрического поля в прямом направлении. Отклонение носителей магнитным полем в сторону освещаемых поверхностей увеличивает число рекомбинирующих носителей и, соответственно, уменьшает число носителей, и соответственно уменьшает число носителей, поглощающих излучение и совершающих, вследствие этого, переходы между подзонами в валентной зоне.

Основа работы модулятора из магнитной полупроводниковой шпинели — эффект магнитопоглощения. Он наблюдается как в шпинели  $n$ -типа, так и в шпинели  $\rho$ -типа. При этом управляющее магнитное поле может быть приложено как перпендикулярно пластине шпинели ( $\vec{H} \parallel \vec{K}$ ), так и параллельно ей ( $\vec{H} \perp \vec{K}$ ),  $\vec{K}$  — вектор распространения света.

Характеристики модулятора представлены на примере магнитной полупроводниковой шпинели  $HgCr_2Se_4$ ,  $\rho$ - и  $n$ -типа:

1.  $n$ - $HgCr_2Se_4$ , отожженная в парах ртути, электросопротивление при 300 К  $\rho = 0.18$  Ом·см, концентрация носителей  $n_{300K} = 2 \cdot 10^{17}$  см $^{-3}$ , характер зависимости  $\rho(T)$  металлический, тол-

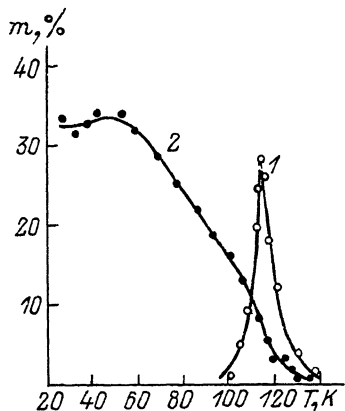


Рис. 1. Температурная зависимость глубины модуляции модулятора на основе  $n\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  при  $\lambda = 8 \text{ мкм}$  (1) и  $p\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  при  $\lambda = 5.5 \text{ мкм}$  (2).  $H \parallel k$ ,  $H = 4 \text{ кЭ}$ .

шина пластинки 500 мкм.

2.  $p\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  отожженная в парах селена,  $\rho_{300\text{K}} = 0.05 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $\rho_{30\text{K}} = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , концентрация носителей  $\rho_{30\text{K}} = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , толщина пластины 75 мкм.

Основной характеристикой модулятора является глубина модуляции, определяемая как [1]:

$$m = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}}{I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}}} = \frac{e^{(\alpha_0 - \alpha_H)l} - 1}{e^{(\alpha_0 - \alpha_H)l} + 1},$$

где  $I_{\text{макс}}$ ,  $I_{\text{мин}}$  - максимальная и минимальная интенсивности прошедшего излучения,  $\alpha_0$  и  $\alpha_H$  - коэффициенты поглощения в отсутствие магнитного поля и в поле,  $l$  - толщина элемента.

Сильное магнитопоглощение в магнитных полупроводниках типа  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  определяется наличием обменного взаимодействия носителей тока с локализованными спинами  $\text{Cr}^{3+}$  [4]. Механизмы магнитопоглощения в  $n$ - и  $p$ -типе магнитной шпинели различны, поэтому различны и температурные зависимости глубины модуляции модуляторов на их основе. В шпинели  $n$ -типа максимум глубины модуляции наблюдается вблизи температуры Кюри  $T_K$  (например, для  $n\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  вблизи  $T_K = 115 \text{ К}$ ) (рис. 1). Явление магнитопоглощения в  $n$ -типе магнитной шпинели объясняется взаимодействием электронов проводимости с флуктуациями магнитного момента. При подавлении флуктуаций магнитным полем прозрачность шпинели увеличивается. Поглощение излучения электронами происходит в сферически симметричной зоне проводимости с изотропным законом дисперсии. В шпинели  $p$ -типа глубина модуляции значительна во всей температурной области ниже температуры Кюри (например, для  $p\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  ниже  $T_K = 106 \text{ К}$ ). Магнитопоглощение в  $p$ -типе магнитной шпинели при  $T < T_K$  объясняется сложной структурой валентной зоны и анизотропным в ферромагнитной области законом дисперсии дырок. Это приводит к тому, что коэффициент поглощения на носителях заряда становится зависимым от направления намагниченности относительно кристаллографических осей кристалла. Величина магнитопоглощения представляет собой разность коэффициентов поглощения в однодоменном (максимальная прозрачность) и многодоменном состояниях. Среди класса магнитных полупроводниковых шпинелей имеются шпинели с температурами Кюри от гелиевых до температур выше комнатной. Однако темпе-

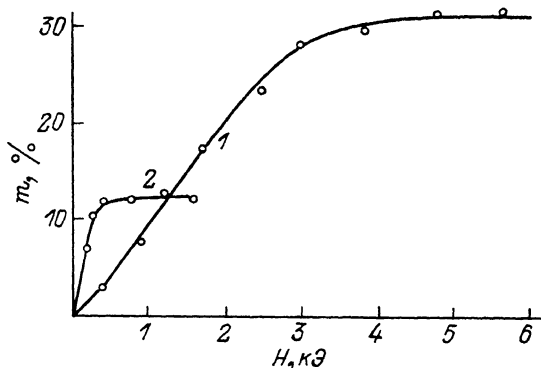


Рис. 2. Зависимость глубины модуляции от магнитного поля модулятора на основе  $p\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  при  $\lambda = 5.5$  мкм и  $T = 80$  К: 1 -  $H \parallel K$ , 2 -  $H \perp K$ .

ратурное поведение глубины модуляции шпинелей типа  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  аналогично приведенным выше, что обусловлено подобием зонной структуры магнитных шпинелей. Максимальная глубина модуляции  $\sim 30\%$  сравнима с глубиной модуляции модуляторов, основанных на изменении поглощения носителями тока в полупроводниках [1].

Быстродействие предлагаемого модулятора определяется динамикой доменов. В магнитных шпинелях без существенного искажения передается сигнал с частотой не менее 1 МГц, что сравнимо с временными характеристиками фарадеевских модуляторов, а также модулятора с  $p$ - $n$  переходом [3], в котором время отклика, определяемое скоростью рекомбинации дырок, составляет 0,5 мкс.

В магнитных полях до поля насыщения глубина модуляции меняется линейно. Величина поля насыщения зависит от направления оси катушки управляющего поля относительно рабочей поверхности (рис. 2), что объясняется различной величиной размагничивающих полей, возникающих при продольном и поперечном намагничивании. Поле насыщения при продольном намагничивании ( $\sim 0,5$  кЭ) в  $\sim 8$  раз меньше, чем при поперечном намагничивании ( $\sim 4$  кЭ). Управляющее магнитное поле для модулятора с  $p$ - $n$  переходом составляет  $\sim 2$  кЭ.

Спектральный диапазон работы модулятора на основе магнитной полупроводниковой шпинели широк и зависит от концентрации носителей заряда. Коротковолновый край рабочего диапазона ограничен началом поглощения на носителях заряда, длинноволновый — поглощением света колебаниями решетки, которое для различных магнитных шпинелей начинается с 15–22 мкм. Например, для  $p\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$  с  $p_{80\text{K}} = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  глубина модуляции при 80 К и  $H = 4$  кЭ возрастает от 10% при 3 мкм до 30% при 4,5 мкм, остается постоянной до 7 мкм, а затем уменьшается.

Таким образом, широкодиапазонный модулятор ИК излучения на основе магнитной полупроводниковой шпинели при сохранении уровня

основных рабочих характеристик известных модуляторов обладает существенно упрощенной конструкцией. Он может быть применен для модуляции излучения  $\text{CO}$ - и  $\text{CO}_2$ -лазеров.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М у с т е л ь Е.Р., П а р ы г и н В.Н. Методы модуляции и сканирования света. М., 1970. 296 с.
- [2] В o a r d W.T., Р a o Y o h-H a n, P h e l p s F.W., C l a s p r u P.C. // IEEE J. Quantum Electron. 1974. QE-10. P. 273-276.
- [3] Патент Франции № 2093324, 1972.
- [4] А у с л е н д е р М.И., Б а р с у к о в а Е.В., Б е б е н и н Н.Г., Г и ж е в с к и й Б.А., Л о ш к а р е в а Н.Н., С у х о р у к о в Ю.П., Ч е б о т а е в Н.М. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. В. 1. С. 247-252.

Институт физики металлов  
УрО АН СССР,  
Свердловск

Поступило в Редакцию  
1 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 17

12 сентября 1989 г.

01; 11

### О ПЕРЕСТРОЙКЕ МАГНИТНЫХ СОСТОЯНИЙ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПЛЕНОК

Г.А. Ш м а т о в, Б.Н. Ф и л и п п о в,  
В.Б. С а д к о в, И.И. К р ю к о в

Неоднородные магнитные пленки нашли широкое применение в современных запоминающих устройствах (ЗУ) [1-3]. Неоднородность пленки может быть обусловлена различными причинами. Например, при создании магнитооптических устройств, а также ЗУ на ЦМД, пленки подвергают ионной имплантации, в результате которой их свойства становятся неоднородными вдоль нормали к ее поверхности (ось  $Z$ ). Имеется в виду зависимость от  $Z$  основных констант материала (намагниченности насыщения  $M_s$ , обменного параметра  $A$ , константы одноосной магнитной анизотропии  $K$ ). Магнитные свойства неоднородных пленок резко отличаются от свойств однородных; возникают новые эффекты при ее перемагничивании. Изучение такого рода особенностей перемагничивания является важным как для предсказания свойств пленок с заданной неоднородностью, так и для решения обратной задачи - определения типа неоднородности пленки по особенностям ее магнитных свойств. В настоящей работе теоретически изучается перемагничи-