

06.3;07

МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ИК МОДУЛЯТОР В ГЕОМЕТРИИ ФОХТА

© Ю.П.Сугорук, Н.Н.Лошкарева,
А.А.Самохвалов, С.Н.Тугушев

Среди магнитооптических модуляторов излучения наиболее широко используется фарадеевский модулятор. Он представляет собой магнитоактивный элемент, находящийся в модулирующем магнитном поле и помещенный между поляризатором и анализатором, причем модулирующее магнитное поле направлено вдоль распространения света и перпендикулярно пластине магнитоактивного вещества. В такой геометрии расположения пластины и магнитного поля, особенно в случае тонкой пластины, требуется большая величина намагничивающего поля, вследствие большого значения размагничивающего фактора (4π). В качестве магнитоактивных элементов используются магнитные диэлектрики и магнитные полупроводники ^[1,2]. Максимальная глубина модуляции (m) таких модуляторов превышает 90%.

При продольном намагничивании магнитоактивного элемента требуется гораздо меньшее магнитное поле для насыщения элемента. Расположение магнитного поля вдоль пластины магнетика перпендикулярно распространению света называется геометрией Фохта. В этой геометрии наблюдается эффект Фохта (или Коттон-Мутона, или магнитное линейное двулучепреломление). Он заключается в том, что линейно поляризованный свет, плоскость поляризации которого имеет угол 45° по отношению к направлению магнитного поля (H), в намагниченном магнитооптическом элементе разлагается на параллельную и перпендикулярную магнитному полю составляющие. Вследствие разности фаз (δ) между этими составляющими на выходе элемента появляется эллиптически поляризованный свет, большая ось которого из-за магнитного линейного дихроизма поворачивается на угол φ , определяемый из выражения

$$\varphi = \arctg[\exp(\Delta K \cdot d) \cdot \cos \delta] - \pi/4, \quad (1)$$

где d — толщина монокристалла, ΔK — величина магнитного линейного дихроизма. Для преобразования эллиптически поляризованного света в линейно поляризованный между анализатором и магнитооптическим элементом устанавливается фазосдвигающая пластина $\lambda/4$. В большинстве

магнитных материалов магнитный линейный дихроизм мал, и этот поворот не учитывается. Как правило, эффект Фохта по величине значительно меньше эффекта Фарадея.

В известном модуляторе излучения на эффекте Коттон-Мутона [3] осуществляется модуляция разности фаз, которая с помощью пластины $\lambda/4$ и анализатора преобразуется в амплитудную модуляцию интенсивности. Максимальная величина глубины модуляции фоxtовского модулятора, полученная для модулятора на основе монокристалла $TbIG$ толщиной 1 см, составила всего 7% [3]. Это делает малопривлекательной возможность применения модулятора на основе $TbIG$.

В случае значительного магнитного линейного дихроизма для модуляции излучения может быть использован поворот плоскости поляризации. В настоящей работе описываются принцип действия и технические параметры такого модулятора ИК излучения, работающего в геометрии Фохта и имеющего большую величину глубины модуляции, на основе ферромагнитного полупроводника $HgCr_2Se_4$ ($T_c = 106$ К).

В этом соединении при $T < T_c$ нами обнаружена большая величина магнитного линейного дихроизма, связанного как с донорными дефектами в монокристаллах n -типа, так и со свободными носителями заряда в монокристаллах p -типа. Величина эффекта зависит от толщины монокристалла и величины магнитного поля [4,5].

На рис. 1 представлена дисперсия угла поворота плоскости поляризации света в геометрии Фохта φ в монокристалле n - $HgCr_2Se_4$, вырезанном вдоль плоскости (111), толщиной $d = 500$ мкм при $T = 80$ К и $H = 430$ Э. Максимум φ при 3 мкм (0.4 эВ) связан с переходами из донорного состояния, образованного комплексом (вакансия по селену + Cr^{2+}), в $(p - d\gamma)$ -зону проводимости; плато при 4–5 мкм (0.2–0.3 эВ) связано с внутрицентровыми переходами внутри комплекса ($V_{Se} + Cr^{2+}$) [4]. Величина φ зависит от направления кристаллографических осей относительно H . Например, при $H \parallel [110]$ угол поворота плоскости поляризации больше, чем при $H \parallel [211]$. Такая анизотропия, по-видимому, связана с одноосной ростовой анизотропией распределения дефектов типа ($V_{Se} + Cr^{2+}$).

В монокристаллах p - $HgCr_2Se_4$ магнитный линейный дихроизм на носителях заряда обусловлен анизотропным спектром дырок в ферромагнитной области, связанным с обменным взаимодействием носителей с магнитными ионами Cr^{3+} . Величина дихроизма достигает 110 см $^{-1}$, разность фаз δ мала.

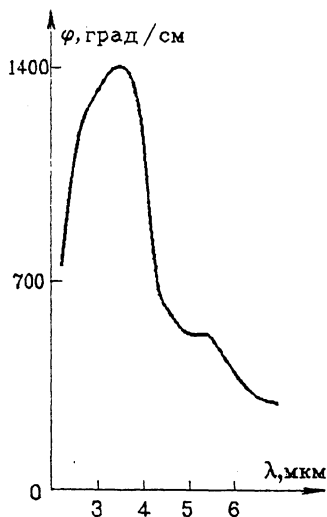


Рис. 1. Зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины волны для монокристалла $n\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$, $T = 80 \text{ K}$, $H = 430 \text{ Э}$.

Наличие больших величин угла поворота плоскости поляризации φ позволило разработать принципиально новый магнитооптический модулятор. В отличие от известного модулятора на эффекте Коттон-Мутона [3], предназначенного для работы только в видимой и ближней ИК области спектра от 0.6 до 1.5 мкм предлагаемый модулятор работает в среднем ИК диапазоне в области от 2.5 до 16 мкм.

Конструкция модулятора, работающего в геометрии Фохта на магнитном линейном дихроизме (рис. 2), упрощается по сравнению с модулятором на магнитном двулучепреломлении: отсутствует пластина $\lambda/4$. Модулятор содержит поляризатор, магнитооптический элемент из магнитной полупроводниковой шпинели HgCr_2Se_4 , помещенный в модулирующее магнитное поле, и анализатор, т. е. те же элементы, что и фарадеевский модулятор.

Для магнетика, обладающего значительной величиной поворота плоскости поляризации в геометрии Фохта, кривая зависимости интенсивности света на выходе модулятора от азимута анализатора (кривая Малюса, рис. 3) при воздействии поля оказывается сильно смещенной относительно той же кривой без поля на величину угла поворота φ . Положение анализатора (θ), при котором будет максимальным относительное изменение интенсивности в поле — глубина модуляции $m = (I_H - I_0) \cdot 100\% / I_H$ — определяется по формуле

$$\theta = -[\arcsin \{2(1 - \Delta) \cos \varphi / (2 - \Delta)\} - \varphi] / 2, \quad (2)$$

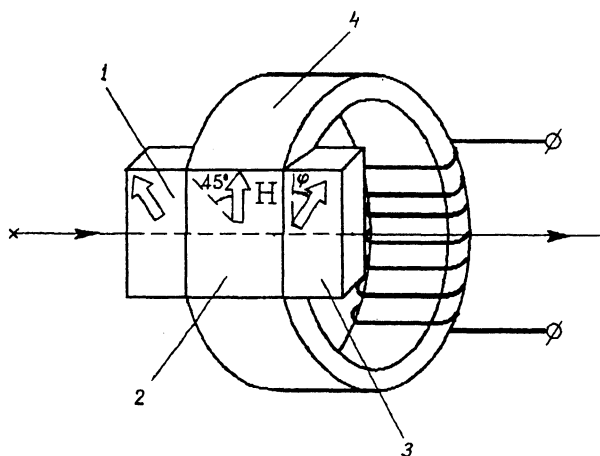


Рис. 2. Схема конструкции модулятора, работающего в геометрии Фохта: 1 — поляризатор, 2 — магнитооптический элемент, 3 — анализатор, 4 — источник управляющего магнитного поля.

где знак (-) указывает направление, противоположное повороту плоскости поляризации поляризатора относительно направления магнитного поля H , а Δ — коэффициент, учитывающий неполноту погасания в системе поляризатор-элемент-анализатор, связанный как с несовершенством поляризаторов, так и с нескомпенсированностью магнитного линейного двулучепреломления и рассеянием света на доменах.

Модулятор работает следующим образом. Плоскость поляризации анализатора устанавливается под углом θ относительно направления магнитного поля, определенным по заранее известному (для данной длины волны и величины магнитного поля) углу поворота плоскости поляризации φ и Δ . Под действием переменного магнитного поля в магнитном полупроводнике возникает изменение намагниченности и, следовательно, изменение поворота плоскости поляризации света на угол φ . Анализатор преобразует модуляцию плоскости поляризации в амплитудную модуляцию интенсивности излучения, падающей на фотоприемник. Модуляция ИК излучения в геометрии Фохта была осуществлена при использовании монокристалла магнитного полупроводника $n\text{-HgCr}_2\text{Se}_4$ толщиной 0.5 мм при $T = 80\text{ K}$ и длине волны $\lambda = 3\text{ мкм}$. В магнитном поле $H = 34400\text{ A/м}$ (430 Э) величина φ составила 90° .

По соотношению (2) при $\Delta = 0.1$ плоскость поляризации анализатора относительно магнитного поля устанавлива-

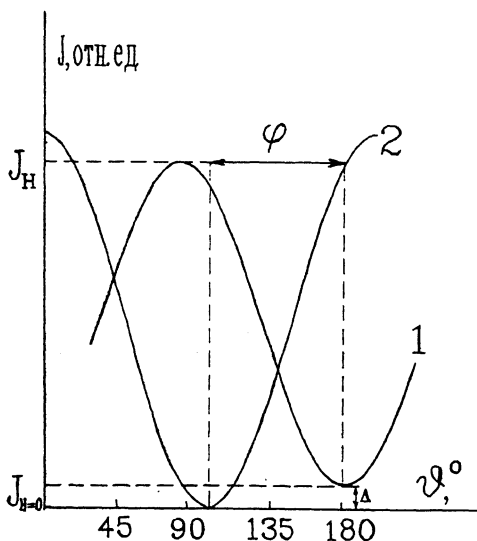


Рис. 3. Зависимость интенсивности света от азимута анализатора на выходе модулятора: 1 — $H = 0$, 2 — $H \neq 0$, Δ — величина неполной компенсации системы, φ — угол поворота плоскости поляризации света.

лась под углом $(-45.0 \pm 0.5)^\circ$. При подаче переменного магнитного поля происходила модуляция интенсивности света с частотой управляющего поля, причем глубина модуляции составила $m = 85\%$, что более чем в 12 раз превышает известные данные для модулятора на эффекте Коттон-Мутона [3]. Величина управляющего поля была более чем в 8 раз меньше по сравнению с полем, необходимым для фарадеевского модулятора на основе HgCr_2Se_4 . Быстродействие предлагаемого модулятора определяется индуктивностью катушки, создающей модулирующее магнитное поле. Процессы перемагничивания самого магнитооптического элемента ограничены частотой ~ 1 МГц.

Таким образом, высокоэффективный модулятор на основе вращения плоскости поляризации в геометрии Фохта в магнитном полупроводнике HgCr_2Se_4 , позволяющий модулировать излучение в ближнем и среднем ИК диапазоне, конструктивно более прост, чем модулятор на эффекте Коттон-Мутона, и имеет меньшее энергопотребление, чем фарадеевский модулятор. Он может быть использован в системах оптической связи, оптоэлектронике.

Список литературы

- [1] Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Методы модуляции и сканирования света. М.: Наука, 1970. 296 с.
- [2] Самохвалов А.А., Лошкарева Н.Н., Сухоруков Ю.П., Кладов Г.К., Курносое И.В. // Оптико-механическая промышленность. 1987. Т. 10. С. 18-20.
- [3] Пат. 2285628 Франции, МКИ G 02 F 1/09. 1974.
- [4] Loshkareva N.N., Sukhorukov Yu.P., Bebenin N.G., Samokhvalov A.A. // Fizika Nizkikh Temperatur. 1992. V. 18. N S1. P. 127-130.
- [5] Ауслендер М.И., Барсукова Е.В., Бебенин Н.Г., Гижевский Б.А., Лошкарева Н.Н., Сухоруков Ю.П., Чеботаев Н.М. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. В. 1. С. 247-252.

Институт физики металлов
УрО РАН
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
26 апреля 1995 г.
