

- [1] S k u b o H., W a d a K. // Patent 4371403 (USA), опубли. 11.02.83.
- [2] G o n z a l e z - H e r n a n d e z Y., M a r t i n D., T s u R. // SPIE. 1983. V. 452. P. 44-50.
- [3] E n g l e r t T., A b s t r e i t e r G., P o n t - c h a r r a Y. // Solid St. Electr. 1980. V. 23. N 6. P. 681-686.

Институт полупроводников
АН УССР, Киев

Поступило в Редакцию
11 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
06.3; 07; 12

26 марта 1989 г.

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ

С.Н. А н т о н о в, А.Н. Б у л ю к,
П.М. В е т о ш к о

В работах [1, 2] впервые сообщается о возможности использования распределенного магнитооптического взаимодействия в волоконных световодах (ВС) для высокочастотной модуляции оптического излучения.

Данная работа посвящена экспериментальному изучению этого эффекта.

Посылки к эксперименту заключались в следующем. Одномерный изначально изотропный световод, намотанный в виде цилиндрической катушки, помещается в магнитное поле, причем, ось катушки ортогональна силовым линиям поля. Такая намотка приводит к появлению линейного двулучепреломления $\delta = \frac{2\pi A n}{\lambda}$, где An — разность показателей преломления ортогональных по поляризации оптических мод, λ — длина волны света в вакууме. Величина δ связана с двумя факторами: изгибом и продольным натяжением ВС [3, 4]:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n^3 (p_{11} - p_{12})(1 + \nu) \frac{r}{R} \left[\frac{r}{4R} + \frac{2 - 3\nu}{2(1 - \nu)} \varepsilon \right], \quad (1)$$

где n — показатель преломления сердцевинны ВС, p_{11} , p_{12} , ν — ее фотоупругие константы и коэффициент Пуассона, r — радиус ВС, R — радиус изгиба ВС, ε — величина относительного удлинения ВС в катушке, вызванного продольным натяжением.

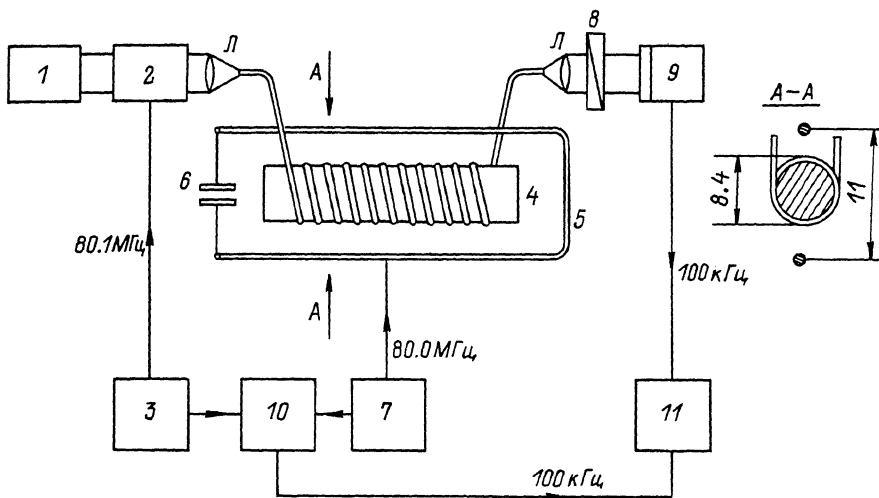


Рис. 1. Схема эксперимента: Л - линзы ввода (вывода) света в ВС.

Магнитное поле через эффект Фарадея модулирует диэлектрическую проницаемость материала ВС и при выполнении условия синхронизма эффективность взаимодействия T (девиация плоскости поляризации света) будет иметь максимальную величину [5, 6]

$$T_{max} = \frac{HLV}{2}, \quad (2)$$

где H - амплитуда напряженности магнитного поля, L - длина ВС, V - постоянная Верде материала сердцевины ВС. Используя результаты [1, 2] для условия синхронизма, запишем

$$\delta = \frac{2\pi}{\Lambda} \pm \frac{2\pi f n}{c}, \quad (3)$$

где c - скорость света в вакууме, f - частота изменения магнитного поля, Λ - пространственный (по длине ВС) период изменения магнитного поля. В конфигурации цилиндрической катушки $\Lambda = 2\pi R$.

Из (3) следует, что при $f \rightarrow 0$ условие синхронизма однозначно связано с параметрами взаимодействия, причем, удобно использовать безразмерный параметр расстройки синхронизма $\mathcal{J} = (\frac{2\pi}{\Lambda} - \delta)L$.

При повышении частоты поля должно происходить „раздвоение“ - появление двух максимумов функции эффективности модуляции поляризации света.

Эксперименты проводились на фиксированной длине волны света $\lambda = 0.63$ мкм при двух значениях частоты магнитного поля $f_1 = 100$ кГц и $f_2 = 80$ МГц. Для экспериментов был взят кварцевый изотропный ВС с диаметром сердцевины 5 мкм, внешней оболочки — 100 мкм и диаметром пластиковой оболочки 250 мкм. Длина волны отсечки моды $L_{P_{11}}$ составляла 0.67 мкм. Чувствительный элемент представлял собой ВС длиной 3 м, намотанный в виде плотной цилиндрической катушки на медную трубку диаметром 8 мм и общей длиной 250 мм. В процессе эксперимента изменялась температура трубки от +20 °С до +70 °С с помощью нагревателя, расположенного внутри ее. Этим перестраивалась величина ε и, как следствие, δ . Нормировка γ производилась на установке, включающей монохроматор, путем измерения зависимости $\lambda_B(T)$, где λ_B — длина волны света, соответствующая максимальной эффективности взаимодействия, T — температура трубки. В указанном температурном диапазоне функция перестройки имела вид $\lambda_B(T) [\text{нм}] = \alpha T + 587$, где $\alpha = 1 \frac{\text{нм}}{\text{град}}$ ($f = 100$ кГц).

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Здесь излучение $He - Ne$ лазера 1 с помощью электрооптического модулятора 2, управляемого генератором 3, модулируется по состоянию поляризации на частоте $f_2' = 80.1$ МГц и вводится в ВС чувствительного элемента 4. Магнитное поле возбуждается двумя параллельными медными проводниками 5 диаметром 2 мм и длиной 30 мм, закороченными с одной стороны и подключенными к конденсатору 6 с другой; между проводниками располагался чувствительный элемент. Таким образом, система проводники — медная трубка — конденсатор представляла собой колебательный контур и на участки ВС вблизи проводников воздействовало магнитное поле с частотой $f_2 = 80.0$ МГц, напряженностью $H \approx 12$ Э (подводимая к контуру от генератора 7 ВЧ мощность $P \approx 0.5$ Вт). Выходное оптическое излучение через поляризационный анализатор 8 поступает на фотоприемник 9, на выходе которого выделяется сигнал разностной частоты $f_2' - f_2 = 100$ кГц с величиной пропорциональной эффективности взаимодействия на частоте f_2 . С выхода смесителя 10 опорный сигнал поступает на синхронный детектор 11. Возможность такого переноса сигнала с частоты f_2 на разностную обусловлена связью эффективности магнитооптического взаимодействия с состоянием поляризации на входе ВС. Отметим, что в отличие от прямой регистрации сигнала, данный метод позволил существенно снизить уровень радионаводок и повысить предельную чувствительность установки.

Экспериментальные результаты представлены на рис. 2. Здесь по оси ординат отложен модуль эффективности взаимодействия, по оси абсцисс — температура стержня и величина расстройки γ . Рис. 2, а представляет результаты измерения при воздействии магнитного поля напряженностью 100 Э с частотой 100 кГц (на рис. 1 не показаны соответствующие изменения в экспериментальной установке). Видно, что наблюдается единственный максимум (с абсолютной эффективностью $\sim 4\%$).

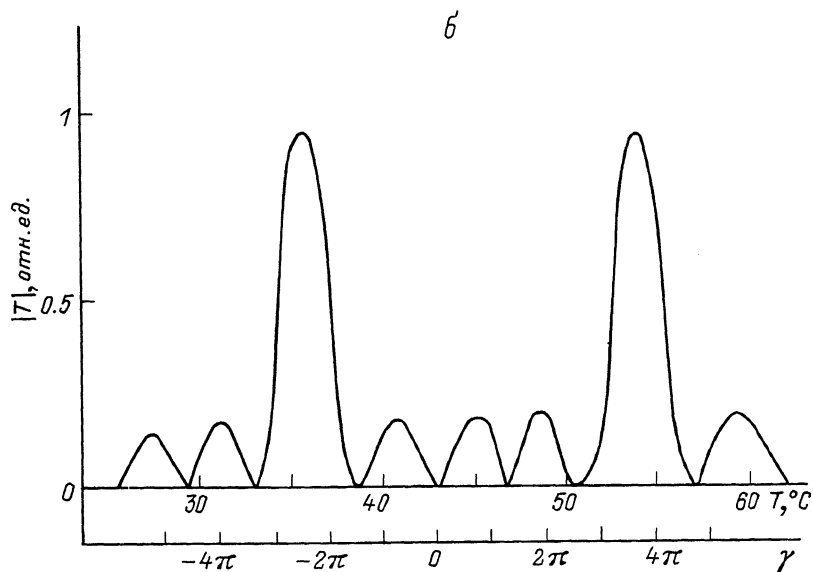
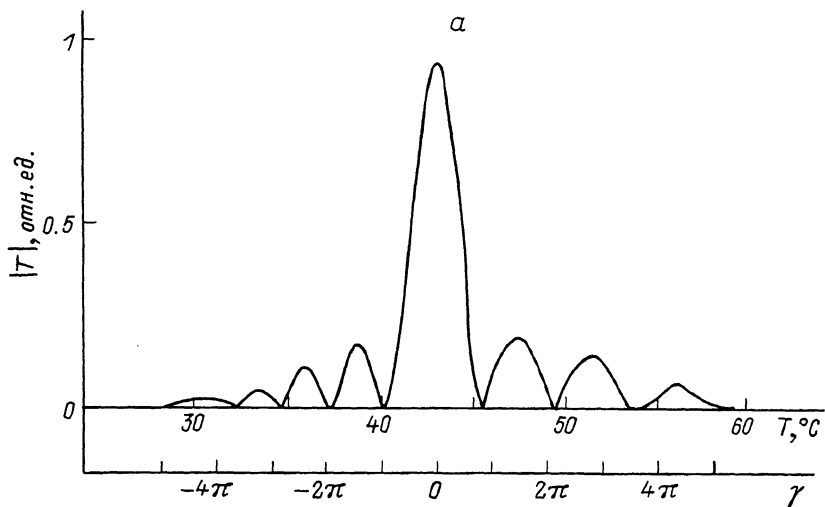


Рис. 2. Экспериментальная зависимость эффективности магнитооптического взаимодействия от температуры чувствительного элемента, а - при частоте магнитного поля 100 кГц, б - 80 МГц.

На частоте 80 МГц наблюдаются два максимума с "разносом" $\Delta\gamma \sim 6\pi$ (максимальная эффективность составила $\sim 0.3\%$). Отметим, что в соответствии с теоретическими данными на высокой частоте численный коэффициент в выражении (2) равен 0.25.

Таким образом, как наблюдаемое значение $\Delta \gamma$, так и величина эффективности взаимодействия удовлетворительно описываются расчетом в соответствии с [1, 2].

В ы в о д ы.

Впервые реализовано высокочастотное распределенное магнито-оптическое взаимодействие в ВС. Установлено, предсказанное теорией, появление двух условий синхронного взаимодействия при повышении частоты магнитного поля. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных дает удовлетворительное согласие.

Достигнутая эффективность взаимодействия (0.3 % при управляющей мощности ВЧ генератора 0.5 Вт) указывает, что даже использование обычных кварцевых ВС позволяет создавать принципиально новые модуляторы света. Однако более перспективным является разработка и использование специальных ВС с более высоким значением постоянной Верде, например, на основе редкоземельных элементов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Антонов С.Н., Шкердин Г.Н., Шуккин Ю.М. // Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33. В. 9. С. 1796-1802.
- [2] Антонов С.Н., Шкердин Г.Н. // Радиотехника. 1988. № 9. С. 72-74.
- [3] Ulrich R., Rashleigh S.C., Eichhoff W. // Optics Letters. 1980. V. 5. N 6. P. 273-275.
- [4] Rashleigh S.C., Ulrich R. // Optics Letters. 1980. V. 5. N 8. P. 354-356.
- [5] Day G.W., Payne D.W., Barlow A.J. // Optics Letters. 1982. V. 7. N 5. P. 238-240.
- [6] Козел С.М., Креопалов В.И., Листвин В.Н. // Квантовая электроника. 1983. Т. 10. № 1. С. 170-172.

Поступило в Редакцию
15 января 1989 г.