

06.3

© 1990

ФАЗОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ СВЕТА
 В ОДНОМОДОВОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
 СИСТЕМЫ $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$
 С ГИГАНТСКОЙ МАГНИТОСТРИКЦИЕЙ

М.Ю. Глухов, А.М. Заикин,
 А.В. Маковкин, В.Л. Преображенский

В настоящее время ведутся интенсивные исследования и разработка систем волоконно-оптических датчиков (ВОД) различных физических величин, наибольшей чувствительностью среди которых обладают интерферометрические ВОД на основе фазовой модуляции излучения, распространяющегося по волоконному световоду (ВС). Практическое применение ВОД данного типа требует использования волоконно-оптических (ВО) фазосдвигающих устройств, способных поддерживать ВО интерферометр в квадратурном режиме, для которого чувствительность ВОД максимальна. В настоящее время широкое распространение получили фазосдвигающие устройства, использующие различные пьезоэлектрические преобразователи [1, 2]. При этом модуляция фазы света в ВС обусловлена динамическим деформированием световода. Однако, малые величины деформации пьезокерамических материалов (пьезомодуль $d_{33} = 10^{-11} - 10^{-12} \text{ м/в}$) требуют использования волоконного световода длиной несколько метров для создания эффективных фазосдвигающих устройств с коэффициентом преобразования порядка 0.5–1 рад/в, что ухудшает их массогабаритные характеристики и не всегда является приемлемым. Известно также применение традиционных магнитострикционных материалов, таких как никель, кобальт и его сплавы (например, пермендюр), в качестве чувствительного элемента ВО датчиков напряженности магнитного поля [3]. Однако данные материалы не позволяют получать достаточных величин деформаций при малых размерах преобразователя, что препятствует их использованию в качестве малогабаритных ВО фазосдвигающих устройств.

В настоящей работе исследовалась возможность использования для фазовой модуляции света в одномодовом ВС магнитомеханических преобразователей, выполненных из редкоземельных соединений системы $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$. Предпосылкой для выбора материалов данной системы послужило наличие у соединений $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$ гигантских магнитострикционных деформаций ($\lambda_s = (1.3 - 1.5) \cdot 10^{-3}$) как при низких, так и при комнатных температурах [4].

При приложении переменного магнитного поля параллельно направлению распространения света возникает сдвиг фазы света $\Delta\Phi$,

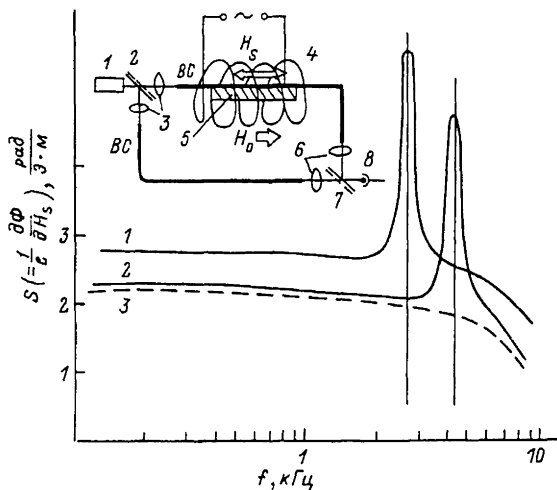


Рис. 1. Частотные зависимости крутизны ВО магнитоэластичного преобразователя: 1 - образец № 1; 2 - образец № 2; 3 - образец № 2 с задемпфированным ВС. На вставке - схема экспериментальной установки: 1 - источник излучения; 2, 7 - светодетекторные пластины; 3, 6 - микрообъективы; 4 - соленоид; 5 - магнитоэластичный преобразователь; 8 - фотодетектор. $H_0=0.5$ кЭ.

вследствие изменений длины ВС Δl и эффективного показателя преломления моды Δn :

$$\Delta \varphi = k_0 n \Delta l + k_0 l \Delta n, \quad (1)$$

где k_0 - волновое число света в свободном пространстве, n - эффективный показатель преломления моды и l - длина ВС. На практике ВО фазосдвигающие устройства работают в области низких частот, т.е. в так называемом аксиально-неограниченном режиме, когда в уравнении (1) для $\Delta \varphi$ существенен вклад обоих слагаемых. Используя выводы, полученные в работе [1], для индуцированного сдвига фазы излучения при упругих осевых деформациях ВС с учетом магнитоэластичного механизма деформаций $\Delta \varphi$ можно представить в следующем виде:

$$\Delta \varphi = k_0 n l \left\{ 1 - \frac{n^2}{2} [\rho_{11} - (\rho_{11} + \rho_{12}) \mu] \right\} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial H} \right)_{H_0} H_S, \quad (2)$$

где ρ_{11} и ρ_{12} - упругооптические коэффициенты материала сердцевины ВС, μ - коэффициент Пуассона, $\left(\frac{\partial \lambda}{\partial H} \right)_{H_0}$ - крутизна кривой (статической) магнитоэластичности $\lambda(H)$ при оптимальном постоянном поле подмагничивания, H_0 и H_S - амплитуда управляющего переменного поля. Как видно из уравнения (2), величина индуцированного

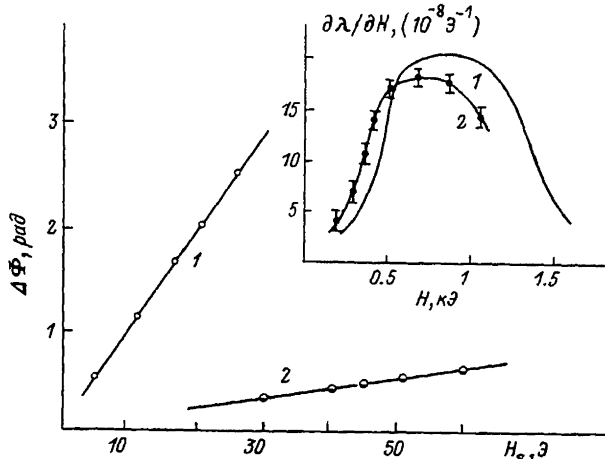


Рис. 2. Зависимость индуцированного в ВС сдвига фазы излучения $\Delta\Phi$ от амплитуды управляющего магнитного поля H_S : 1 - образец № 1; 2 - образец № 2. На вставке приведены полевые зависимости $\frac{\partial\lambda}{\partial H}$: 1 - по данным работы [4] для $Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe_2$ ($T=300$ К); 2 - рассчитанная из данных, полученных в настоящей работе для образца № 1. $H_0=0.6$ кЭ; $f=800$ Гц.

сдвига фазы $\Delta\Phi$ пропорциональна крутизне кривой статической магнитострикции $\frac{\partial\lambda}{\partial H}$, которая для $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$ и традиционных магнитострикционных материалов, например, никеля, имеет один порядок величины $\frac{\partial\lambda}{\partial H}=(1-1.1)\cdot 10^{-6}$ Э $^{-1}$ для $Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe_2$ при $H_0=800$ Э [3]; $\frac{\partial\lambda}{\partial H}=(2.5-3)\cdot 10^{-6}$ Э $^{-1}$ для никеля при 3 Э [5]. Однако поскольку зависимость характеристики $\frac{\partial\lambda}{\partial H}$ от поля для соединений $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$ имеет протяженный пологий максимум в области 0.5-1.5 кЭ (см. вставку на рис. 2), величина управляющего переменного магнитного поля H_S может достигать значений порядка 500 Э при оптимальных полях подмагничивания $H_0=0.8-0.9$ кЭ. В то же время для никеля величина H_S ограничена напряженностью поля порядка 5-10 Э. Численные оценки с помощью соотношения (2) для предельно достижимого сдвига фазы излучения в ВС $\Delta\Phi_{max}$ (отнесенного к единичной длине преобразователя) дают следующие значения: $\Delta\Phi_{max}=1.4-1.7$ рад/см для преобразователя из никеля и $\Delta\Phi_{max}=57-63$ рад/см для преобразователя из $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$ при длине волны излучения 0.63 мкм в одномодовом ВС из плавленого кварца ($\rho_{11}=0.12$, $\rho_{12}=0.27$, $\mu=0.17$, $n=1.46$). Видно, что $\Delta\Phi_{max}$ для преобразователя из редкоземельного соединения более чем на порядок превосходит соответствующую величину для никеля.

Для экспериментальных исследований фазовой модуляции излучения в ВС использовался ВО интерферометр (см. вставку на рис. 1), собранный по схеме Маха-Цендера. Магнитоотрицательный преобразователь с наклеенным на него участком сигнального одномодового ВС помещался в соленоид (плотность намотки 15 и 85 витков/см для образцов № 1 (длиной 4 см) и № 2 (длиной 0.5 см)), внутри которого создавалось переменное магнитное поле. Постоянное поле подмагничивания H_0 при этом создавалось электромагнитом (на рисунке не показан). В качестве магнитоотрицательного преобразователя использовались образцы $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$, синтезированные в дуговой печи с водоохлажденным латунным тиглем в атмосфере спектрально чистого аргона.

На рис. 1 приведены частотные зависимости крутизны $S = \frac{1}{l} \frac{\partial \phi}{\partial H_s}$ ВО магнитоотрицательного преобразователя. Резонансные пики на частоте 2.9 кГц для образца № 1 и на частоте 4.5 кГц для образца № 2 связаны с резонансом упругих волн в отрезке ВС, используемого в качестве сигнального плеча интерферометра, длина которого составляла соответственно 1.3 и 0.85 м. Отметим, что резонансное возбуждение упругих волн не наблюдалось, когда волокно в нескольких местах демпфировалось зажимами (кривая 3 на рис. 1). Зависимости индуцированного в ВС сдвига фазы излучения $\Delta \phi$ от амплитуды управляющего переменного магнитного поля H_s приведены на рис. 2. Крутизна преобразования по току, отнесенная к единичной длине магнитоотрицательного преобразователя, при этом составила 60 и 200 рад/А м для образцов № 1 и № 2 соответственно. Для достижения больших сдвигов фазы $\Delta \phi$ при меньших управляющих токах необходимо оптимизировать конструкцию управляющей магнитной системы.

Таким образом, приведенные в работе экспериментальные данные показывают, что магнитоотрицательный преобразователь на $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$ может быть использован для создания компактных эффективных ВО фазосдвигающих устройств и фазовых модуляторов, работающих на частоте до 8 кГц.

Авторы выражают благодарность И.С. Дубенко за предоставленные образцы $Tb_{1-x}Dy_xFe_2$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] De Paula R.P., Moore E.L. // SPIE Proc. 1984. V. 478.
- [2] Sarome E.F., Koop K.P. // Proc. IEEE Ultrasonics Symp. 1980. P. 710-712.
- [3] Балаев В.И., Мишин Е.В., Пятахин В.И. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 1. С. 10-30.
- [4] Белов К.П., Катаев Г.И., Левитин Р.З., Никитин С.А., Соколов В.И. // УФН. 1983. Т. 140. В. 2. С. 271-313.

Московский институт
радиотехники, электроники
и автоматики

Поступило в Редакцию
7 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21

12 ноября 1990 г.

06.3

© 1990

СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА $InGaAsP/InP$ ($\lambda = 1.55$ мкм) РОС-ЛАЗЕРОВ С КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАССТРОЙКОЙ

А.И. Г у р и е в, А.Г. Д е р я г и н,
Д.В. К у к с е н к о в, В.И. К у ч и н с к и й,
Е.Л. П о р т н о й, В.Б. С м и р н и ц к и й

$InGaAsP/InP$ РОС гетеролазеры с длиной волны генерации в диапазоне 1.5–1.6 мкм являются наиболее подходящими источниками излучения для высокоскоростных линий оптической связи большой протяженности. Скорость передачи в таких системах ограничивается шириной полосы модуляции лазерных источников. Устойчивость одночастотного режима генерации при динамической накачке дает дополнительные возможности для повышения частоты модуляции лазеров с РОС.

В настоящей работе представлены результаты исследований скоростных свойств РОС лазеров $InGaAsP/InP$ и рассмотрены факторы, их определяющие. Критерием, характеризующим максимальное быстродействие полупроводникового лазера, является частота релаксационных колебаний (РК), которая ограничивает внутреннюю полосу модуляции лазера.

Частота релаксационных колебаний измерялась для мезаполосковых $InGaAsP/InP$ лазеров с распределенной обратной связью во втором порядке и длиной волны генерации в спектральном диапазоне 1.5–1.6 мкм. Шаг дифракционной решетки рассчитывался таким образом, чтобы обеспечить получение коротковолновой расстройки длины волны генерации относительно длины волны максимума полосы усиления: $\Delta\lambda = (\lambda_{РОС} - \lambda_{макс}) < 0$. Лазерные диоды изготавливались по методике, изложенной в [1]. Частота релаксационных колебаний определялась на экспериментальной установке, состоящей из схемы высокочастотной накачки, быстродействующего $InGaAsP$ р-и-п фотодиода с разрешением до 15 ГГц и стробоскопического осциллографа С1-91/4. На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости частоты РК от корня квадратного