

УДК 681.7.068

Ю.В. Недзвецкий (студ. каф. РФ),  
А.В. Хлыбов (асп., каф. РФ), О.И. Котов, д.ф.-м.н. проф.

## ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МОДУЛЯТОР

ABSTRACT: The behavior of all-fiber polarization modulators, which are designed of piezoceramic cylinder and tension-coiled isotropic or anisotropic fiber, has been considered. The modulators use an effect of modulation of induced or intrinsic fiber birefringence. High efficiency of their work was achieved experimentally.

Поляризационные волоконно-оптические модуляторы представляют собой в простейшем случае пьезокерамический цилиндр с плотно навитым на него одномодовым волокном. Они позволяют достаточно эффективно и с низкими оптическими потерями осуществлять модуляцию состояния поляризации распространяющегося света и могут с успехом использоваться в составе поляризационных оптоволоконных интерферометрических датчиков и полностью волоконных амплитудных модуляторов [1].

В данной работе изучалась возможность создания пьезокерамического поляризационного модулятора с максимально достижимой эффективностью. Для этого проводились эксперименты с пьезокерамическими цилиндрами различных размеров, с нанесением дополнительных покрытий на намотку и с одномодовым волокном 2-х типов: изотропным и сильно двулучепреломляющим. Были исследованы различные механизмы возникновения поляризационной модуляции.

Изменение состояния поляризации на выходе одномодового оптоволоконного поляризационного модулятора возникает в результате изменения разности фаз 2-х ортогонально поляризованных мод волокна, что в свою очередь вызвано изменением разности показателей преломления по главным оптическим осям (т.к. называемая модуляция двулучепреломления – сокращённо ДЛП). Линейное ДЛП в волокне может быть получено внешними и внутренними механическими напряжениями, вследствие фотоупругого эффекта. В сильно двулучепреломляющих волокнах внутренние напряжения, созданные при изготовлении, очень велики и намного превосходят напряжения, возникающие от внешних воздействий.

Изменения разности фаз поляризационных мод  $\delta\phi$  может быть вызвана модуляцией длины волокна ( $\delta L$ ) и величины двулучепреломления ( $\delta\beta$ ):

$$\delta\phi = \delta\beta \cdot L + \beta \cdot \delta L, \quad (1)$$

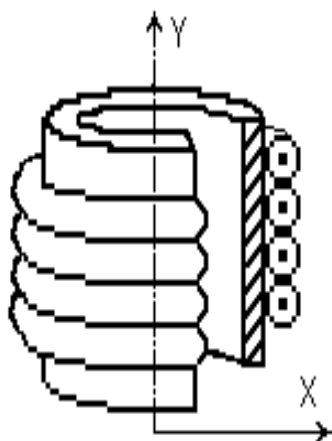


Рис. 1. Вид модулятора в разрезе

здесь  $L$  – длина волокна,  $\beta = k_0 \cdot \Delta n$ , где  $k_0$  – волновое число света, а  $\Delta n$  – разность показателей преломления для ортогональных поляризационных мод волокна. Наведенное линейное ДЛП в пьезокерамических поляризаторах может быть вызвано деформацией изгиба, изгиба с натяжением, поперечного давления (как в направлении  $x$ , так и в направлении  $y$ ) – см. рис. 1. Небольшое натяжение при намотке волокна на цилиндр необходимо для улучшения механического контакта волокна и керамики, однако оно не приводит к дополнительной модуляции ДЛП. Тем не менее, ДЛП, вызванное изгибом с натяжением, складывается с ДЛП от изгиба и позволяет улучшить образование оптических осей в изотропном волокне. Изгиб является деформацией 2-го порядка, т.е. про-

порционален  $1/R^2$ , где  $R$  – радиус изгиба; поэтому вызываемое им ДЛП невелико, но поляризационная модуляция не равна нулю. Чтобы "включить" механизм деформации по оси  $x$ , мы обжали пьезокерамический цилиндр с намотанным волокном металлической "рубашкой". Наблюдалось увеличение эффективности модулятора, поскольку в нашем случае поперечное давление является деформацией 0 – го порядка (не зависит от  $R$ ). Кроме того, были проведены эксперименты с двумя типами покрытий – лак и воск – для увеличения площади механического контакта и наведения поперечных деформаций. На рис.2. приведён график зависимости эффективности от частоты для модулятора радиуса  $R = 0,95$  см и числом витков  $N = 37$ . Эффективность определяется здесь как:

$$\text{Eff} = \delta\varphi / (U \cdot 2\pi \cdot N \cdot R), \quad (2)$$

где  $U$  – амплитуда подаваемого на керамику напряжения. Эксперименты показали, что покрытие лаком почти не дает преимуществ по сравнению со свободной намоткой волокна, поэтому соответствующая зависимость на рис. 2 не показана. Использование обжима дало в среднем прирост эффективности в 4 раза. Отметим, что т.к. исследуемое волокно было в защитной оболочке, то эффект поперечного давления был значительно ослаблен. Ожидается, что для волокна без защитного чехла эффективность может вырасти на порядок (модуль Юнга оболочки приблизительно в 20 раз меньше, чем у кварцевого волокна, что "ослабляет передачу" деформации от керамики к световоду.

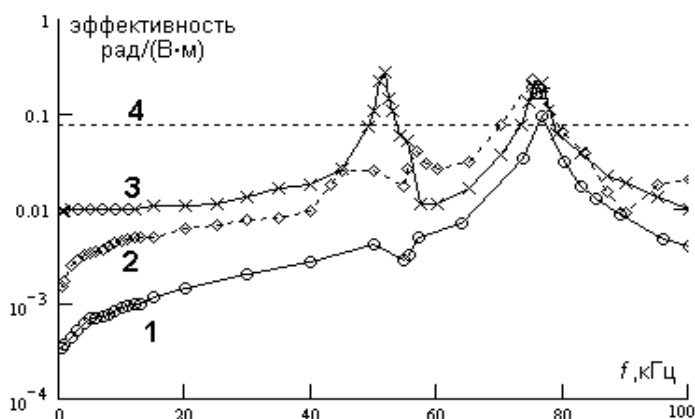


Рис. 2. Графики зависимости эффективности модуляторов от частоты. 1 – изотропное волокно, свободная намотка; 2 – изотропное волокно с обжимом; 3 – анизотропное волокно; 4 – эффективность стандартного электрооптического модулятора МЛ-102

модуляция ДЛП может быть значительно больше, чем в результате поперечной деформации.

Таким образом, были рассмотрены волоконно-оптические модуляторы на основе пьезокерамических цилиндров с изотропным и сильно двулучепреломляющим волокном и показана возможность получения поляризационной модуляции с высокой эффективностью.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ana Rosa Boyain, Luis Martinez-León, "Low-frequency and high-frequency all-fiber modulators based on birefringence modulation", etc. Applied Optics. V. 38, N.30/ 20 October 1999.
2. C. Rashleigh, "Polarimetric sensors: exploiting the axial stress in high birefringence fibers", First International Conference on Optical Fibre Sensors.