

УДК 621.383

**Р.С. Пономарев, Д.И. Шевцов**Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь, Россия**ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ<sup>3</sup>**

Рассматриваются интегрально-оптические модуляторы фазы излучения, применяемые в волоконно-оптических гироскопах. Показано, что применение высокоразрешающего OFDR-рефлектометра для измерения обратных отражений в интегрально-оптической схеме позволяет надежно детектировать отражающие дефекты, приводящие к возникновению паразитных интерферометров и снижающие точность работы прибора.

**Ключевые слова:** электрооптические модуляторы фазы, ниобат лития, волоконно-оптический гироскоп, зона нечувствительности, обратные отражения, рефлектометрия.

**R.S. Ponomarev, D.I. Shevtsov**

Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

**USING OF OPTICAL REFLECTOMETRY  
IN INTEGRATED-OPTIC DEVICE PRODUCTION**

The article is devoted to fiber-optic gyro phase modulators. High resolution OFDR reflectometer was used for measurement back reflection in phase modulators to detect defects leads to parasitic interferometers and dead-band of fiber-optic gyro.

**Keywords:** electro-optic phase modulators, lithium niobate, fiber optic gyro, insensitivity band, back reflection, OFDR.

Высокоразрешающая оптическая рефлектометрия позволяет детектировать отражающие события, возникающие на дефектах световода или на границе прозрачных сред, и широко используется для исследования состояния волноводов в чипах фотонных интегральных схем [1–3]. В данной работе для исследования интегрально-оптических схем применялся оптический рефлектометр частотной области (OFDR) Luna OBR 5T-50, объектом исследования были модуляторы фазы излучения, применяемые для модуляции и поляризации света в волоконно-

---

<sup>3</sup> Статья по материалам доклада на конференции «Оптическая рефлектометрия 2018».

оптических гироскопах навигационного класса точности. Предметом исследования были дефекты указанных фазовых модуляторов, приводящие к возникновению зоны нечувствительности гироскопа – неспособности детектировать угловую скорость при ее малых величинах [4–7] (рис. 1).

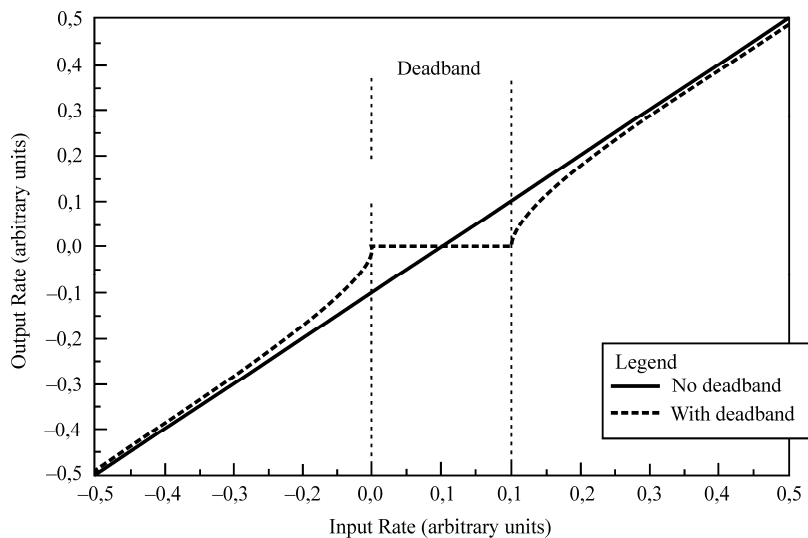


Рис. 1. Зона нечувствительности волоконно-оптического гироскопа [7]

В качестве рабочей гипотезы выдвигалось предположение о том, что зона нечувствительности гироскопа обусловлена наличием паразитных интерферометров в оптическом тракте, возникающих в результате нежелательных обратных отражений в точках соединения волоконных световодов и канальных волноводов чипа интегрально-оптической схемы (рис. 2).

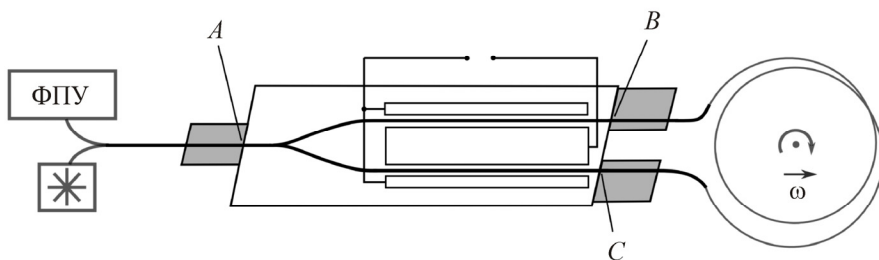


Рис. 2. Фазовый модулятор ВОГ (точками отмечены места стыковки чипа модулятора с волоконными световодами; точка *A* соответствует месту стыковки модового фильтра, точки *B* и *C* – волоконного контура)

Целью работы было выяснение реальной величины обратных отражений и их стабильности в указанных точках оптического тракта, а также установление связи между величиной обратных отражений и величиной зоны нечувствительности гироскопа.

### **Исследуемые образцы**

Исследуемые образцы представляли собой интегрально-оптические модуляторы фазы излучения, построенные по схеме Y-разветвителя на основе протонообменных канальных волноводов, формируемых в кристаллах LiNbO<sub>3</sub> конгруэнтного состава. Излучение вводилось и выводилось с помощью волоконных световодов типа Panda, сохраняющих поляризацию излучения. Длина чипа интегральной схемы составляла 40 мм, величина показателя преломления канальных волноводов составляла 2,22. В точках стыковки волоконные световоды приклеивались к чипу интегральной схемы с помощью УФ-отверждаемого полимерного клея с показателем преломления, совпадающим с показателем преломления сердцевины волоконного световода. Стыковка проводилась с сохранением поляризации излучения, минимальное значение выходной поляризации излучения было не ниже 30 дБ, типичное значение – 35 дБ.

### **Процедура измерения**

Получение рефлектограмм проводилось следующим образом: выходы модулятора поочередно приваривались с помощью сварочного аппарата Fujikura FSM-60s к участку жертвенного волокна, соединенному с входом рефлектометра через разъем FC-APC. Использование жертвенного волокна обусловлено стремлением уменьшить число действий, связанных с вводом и выводом коннекторов в приемное гнездо прибора и возможностью внесения нежелательных рассеивающих дефектов, пылинок, грязи. Измерения проводились при нормальных условиях в чистом помещении класса 7. Рефлектограммы осреднялись встроенными средствами программы обработки Luna Analysis, поставляемой в комплекте с рефлектометром. Перед каждой серией измерений проводилась самокалибровка прибора по внутреннему источнику излучения. Указанные меры привели к сохранению неизменной высоты фона при измерении, что позволило сравнивать друг с другом абсолютные значения высоты пиков на рефлектограммах без дополнительной нормировки.

## Результаты и их обсуждение

Пример получаемой рефлектограммы приведен на рис. 3.

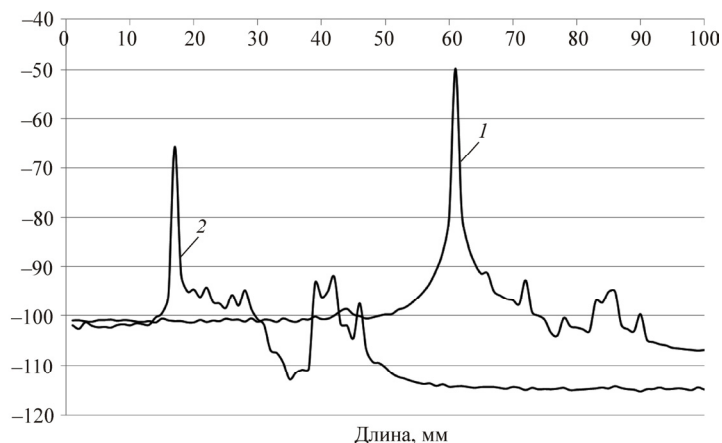


Рис. 3. Рефлектограмма образца фазового модулятора: линия 1 – дефектное левое плечо модулятора с высокими обратными отражениями в зоне стыковки волоконного контура, соответствует точке В на рис. 1; линия 2 – исправное правое плечо с низкими обратными отражениями во всех точках

Первоначальный анализ высоты пиков обратных отражений по самому высокому значению показал, что имеется прямая связь между предельной высотой пика и вероятностью отбраковки модулятора по наличию зоны нечувствительности. Пороговое значение величины обратных отражений при этом составило минус 57 дБ в любой точке рефлектограммы. Однако для ряда образцов с низкими пиками также было показано наличие паразитных интерферометров, приводящих к появлению зоны нечувствительности.

Дополнительные исследования показали, что помимо абсолютной высоты пика значение имеют его вид и ширина основания. При заметном уширении основания пика также резко повышалась вероятность отбраковки образца. Кроме того, было показано, что раздвоение пиков также является нежелательным фактором.

## Заключение

Всего по результатам работы было проанализировано около 300 образцов модуляторов, и были обнаружены характерные значения и вид кривых обратных отражений, соответствующие годным издели-

ям и изделиям, имеющим критические дефекты. Указанные значение и вид кривых были внедрены в процедуру оценки качества модуляторов, что позволило сдвинуть ближе к началу производственного цикла важную контрольную операцию, приведя к значительной экономии времени и материальных ресурсов.

### Список литературы

1. High Resolution Optical Frequency Domain Reflectometry for Analyzing Intra-Chip Reflections / D. Zhao, D. Pustakhod, K. Williams, & X. Leijtens // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2017. – 29(16). – P. 1379–1382.
2. High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies / B.J. Soller, D.K. Gifford, M.S. Wolfe, M.E. Froggatt // *Optics Express*. – 2005. – 13(2). – P. 666–674.
3. Glombitza U., Brinkmeyer E. Coherent frequency-domain reflectometry for characterization of single-mode integrated-optical waveguides // *Journal of Lightwave Technology*. – 1993. – 11(8). – P. 1377–1384.
4. Study on dead zones of fiber-optic gyros / D.A. Egorov, R.O. Olekhovich, A.A. Untilov, A.S. Aleinik, G.B. Deineka, V.E. Strigalev // *Gyroscopy and Navigation*. – 2011. – 2. – P. 64–78.
5. Lefevre H.C. *The Fiber-Optic Gyroscope*. – London: Artech House, 1993. – 332 p.
6. Nayak J. Fiber-optic gyroscopes: from design to production // *Applied Optics*. – 2011. – 50(25). – P. E152–E161.
7. Pavlath G. A. Closed loop fiber optic gyros // *Fiber Optic Gyros: 20th Anniversary Conference*. – 1996. – 2837. – P. 46–60.

### References

1. Zhao D., Pustakhod D., Williams K., Leijtens X. High resolution optical frequency domain reflectometry for analyzing intra-chip reflections. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2017, 29(16), pp. 1379-1382.
2. Soller B.J., Gifford D.K., Wolfe M.S., Froggatt M.E. High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies. *Optics Express*, 2005, 13(2), pp. 666-674.
3. Glombitza U., Brinkmeyer E. Coherent frequency-domain reflectometry for characterization of single-mode integrated-optical waveguides. *Journal of Lightwave Technology*, 1993, 11(8), pp. 1377-1384.

4. Egorov D.A., Olekhnovich R.O., Untilov A.A., Aleinik A.S., Deineka G.B., Strigalev V.E. Study on dead zones of fiber-optic gyros. *Gyros-copy and Navigation*, 2011, 2, pp. 64-78.

5. Lefevre H.C. The fiber-optic gyroscope. London, Artech House, 1993, 332 p.

6. Nayak J. Fiber-optic gyroscopes: from design to production. *Applied Optics*, 2011, 50 (25), pp. E152-E161.

7. Pavlath G.A. Closed loop fiber optic gyros. In *Fiber Optic Gyros: 20th Anniversary Conference*, 1996, 2837, pp. 46-60.

Получено 28.02.2018