

УДК 621.315.2:535.8

## УМЕНЬШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ СТЫКОВКЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ОДНОМОДОВЫМИ ВОЛОКОННЫМИ СВЕТОВОДАМИ

Поляков А.В., Королёва Е.А.

Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Для уменьшения величины оптических потерь при вводе излучения от полупроводникового инжекционного лазера в одномодовый волоконный световод предложили использовать специальную анизотропную волоконно-оптическую вставку. С помощью численного моделирования проведена оптимизация параметров оптической вставки, позволившая достичь значений оптических потерь не превышающих 0,8 дБ при радиусе входного торца 100 мкм и длине модового преобразования 83 см.

**Ключевые слова:** измерительное устройство, инжекционный лазер, одномодовый волоконный световод, анизотропная вставка, оптические потери.

## REDUCTION OF OPTICAL LOSSES WHEN JOINING MEASURING DEVICES WITH SINGLE-MODE FIBER FIBER

Polyakov A., Karaliova E.

Belarusian State University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** To reduce the optical loss when radiation from a semiconductor injection laser is coupled into a single-mode optical fiber, it was proposed to use a special anisotropic fiber-optic insert. Using numerical simulation, the optimization of the parameters of the optical insert was carried out, which made it possible to achieve optical loss values not exceeding 0.8 dB with an input end radius of 100  $\mu\text{m}$  and a mode conversion length of 83 cm.

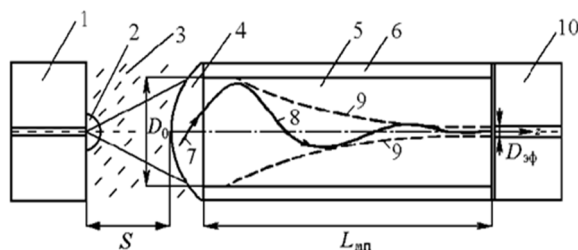
**Keywords:** measuring device, injection laser, single-mode optical fiber, anisotropic insert, optical losses.

Адрес для переписки: Поляков А.В., пр. Независимости, 4, Минск 220030, Республика Беларусь  
e-mail: polyakov@bsu.by

Уровень мощности сигнала, вводимого в волоконно-оптический световод, является одним из основных параметров, определяющих характеристики волоконно-оптических информационно-измерительных систем. Поскольку расходимость излучения инжекционного лазера является достаточно существенной, потери при вводе в одномодовый волоконный световод с диаметром сердцевины 9 мкм становятся неприемлемо большими. Для их уменьшения используются специальные согласующие элементы, при этом потери мощности излучения на ввод составляют 2–3 дБ [1, 2].

Для уменьшения потерь ввода излучения инжекционного лазера (ИЛ) в одномодовый волоконный световод (ВС) предложен стыковочный элемент в виде анизотропной волоконно-оптической вставки [3, 4]. Анизотропная волоконно-оптическая вставка (АВОВ) – это устройство, обладающее фокусирующими и коллимирующими свойствами. В АВОВ (рис. 1) градиент показателя преломления в сердцевине 5 оптического волокна (6 – оболочка) обусловлен не химическим составом стекла, а упорядочением внешним электрическим полем в процессе производства внутренней молекулярной структуры кварцевого стекла. При этом анизотропные молекулы и образующиеся микрокристаллы материала сердцевины ориентированы так (эффект Керра-Поккельса), что их оптические оси направлены вдоль силовых линий электрического поля. Под действием светового

пучка данная нелинейная среда становится оптически неоднородной: в центре пучка, где интенсивность выше, показатель преломления становится больше, чем на краю, а следовательно, фазовая скорость распространения осевых лучей уменьшается. В результате, наблюдается эффект самофокусировки света или нелинейная рефракция, когда лучи, первоначально распространявшиеся по нормали к плоскому волновому фронту, начинают искривляться к оси.



1 – инжекционный лазер; 2 – полусферический элемент; 3 – иммерсионная жидкость; 4 – сферическая полимерная микролинза; 5 – световодная жила АВОВ; 6 – оболочка АВОВ; 7 – луч; 8 – синусоида; 9 – ограничение; 10 – одномодовое оптическое волокно

Рисунок 1 – Устройство ввода лазерного излучения в одномодовое оптическое волокно на основе АВОВ

Траектория меридионального луча 7 любой моды, вводимого в пределах апертурного угла  $\theta_A$ , представляет собой экспоненциально затухающую

к оптической оси  $z$  синусоиду  $\delta$ , ограниченную линиями 9. С волновой точки зрения это означает, что указанные моды будут преобразовываться по пути их распространения в моду одной линейной поляризации  $HE_{11}$ , имеющую минимальный относительно оси  $z$  угол следования луча. Благодаря значительной концентрации (коллимации) энергии излучения вдоль оси  $z$  после прохождения длины модового преобразования  $L_{мп}$  обеспечивается одномодовый режим распространения световой волны. Таким образом, излучение, введенное в АВОВ диаметром  $D_0$ , после прохождения  $L_{мп}$  будет иметь эквивалентный диаметр одномодового режима распространения  $D_{эф} < D_0$ .

Для согласования числовых апертур ИЛ и АВОВ применяли варианты конструкции, использующие полимерный плоскосферический элемент (ПСЭ) с радиусом кривизны  $r_c = 15$  мкм и показателем преломления  $n_c = 2,1$  на торце кристалла ИЛ или сферическую полимерную микролинзу (СПМЛ) на входном торце АВОВ с показателем преломления, равным показателю преломления сердцевины АВОВ.

С помощью модифицированной математической модели, учитывающей продольное, радиальное, угловое смещение и несовпадение модовых пятен между анизотропной вставкой и торцом волокна, продольное смещение и френелевские потери между инжекционным лазером и вставкой, проведено численное моделирование зависимости потерь от радиуса входного торца АВОВ. Из результатов расчетов следует, что более предпочтительным является применение сферической полимерной микролинзы. Кроме того, размер входного торца эффективно увеличивать до величин порядка 100 мкм, поскольку дальнейшее увеличение  $R_0$  не ведет к существенному уменьшению потерь. При этом, согласно рис. 2, длина модового преобразования будет составлять 83 см.

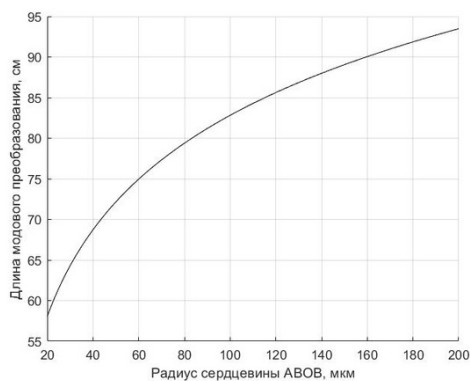


Рисунок 2 – Зависимость длины АВОВ от радиуса входного торца  $R_0$

На рис. 3 представлены зависимости суммарных потерь от показателя преломления иммерсионной

жидкости между ИЛ и АВОВ при фиксированном значении  $R_0 = 100$  мкм. Из полученных графиков следует, что величина потерь на френелевское отражение и продольное смещение минимальны при условии, что показатель преломления иммерсионной жидкости будет составлять величину  $n_{ж2} = 2,3-2,4$ , и при использовании сферической полимерной микролинзы потери на стыковку между ИЛ и ВС достигают величины менее 0,8 дБ. Предложенное устройство стыковки увеличивает эффективность ввода лазерного излучения в ВС в 3–3,5 раза по сравнению с использованием только согласующих линз различной конструкции. Применение АВОВ позволяет увеличить длину тестируемого ВС на 4–5 км при рефлектометрических измерениях.

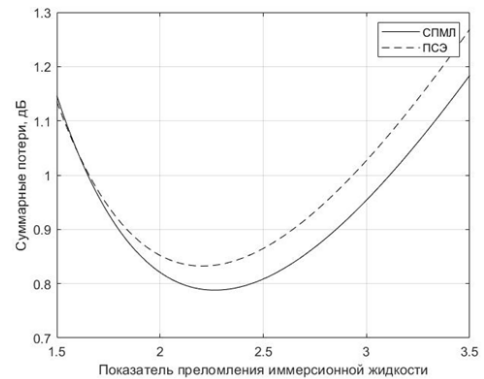


Рисунок 3 – Зависимость суммарных потерь на соединении от показателя преломления иммерсионной жидкости

Использование АВОВ для повышения эффективности соединения ИЛ с одномодовым ВС может найти широкое применение в различных областях волоконной оптики, включая волоконно-оптические системы связи, волоконно-оптические датчики, оптоэлектронные динамические запоминающие устройства с оптоволоконной линией задержки, а также в оптических рефлектометрах и измерителях мощности.

#### Литература

1. Плеханов, А. И. Оптические волокна с концевыми фотополимерными микролинзами / А. И. Плеханов, В. В. Шелковников // Российские нанотехнологии. – 2006. – Т 1, № 1. – С. 240–244.
2. Lensed photonic crystal fiber obtained by use of an arc discharge / G. L. Kong [et al.] // Optics Letters. – 2006. – Vol. 31, № 7. – P. 894–896.
3. Макаров, Т. В. Ввод лазерного излучения в одномодовые оптические волокна / Т. В. Макаров // Электросвязь. – 1995. – № 11. – С. 19–21.
4. Ксенофонтов, М. А. Повышение эффективности ввода лазерного излучения в световоды волоконно-оптических информационно-измерительных систем / М. А. Ксенофонтов, А. В. Поляков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 8. – С. 22–26.