

# Расчёт пропускания структуры на основе тейперированной вставки бессердцевинного оптического волокна

Д.Д. Бакуров<sup>1,2</sup>, О.В. Иванов<sup>2</sup>, М.А. Абельмас<sup>1</sup>, Л.И. Гафурова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ульяновский государственный технический университет, Северный Венец 32, Ульяновск, Россия, 432027

<sup>2</sup>Ульяновский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Гончарова, 48/2, Ульяновск, Россия, 432011

## Аннотация

Моделируется распространение света в структуре на основе тейперированной вставки бессердцевинного оптического волокна. Рассчитано поле в волокне после прохождения вставки. Получены коэффициенты пропускания мод для вставок разной длины в зависимости от длины волны.

## Ключевые слова

Оптическое волокно, волоконные вставки, тейпер, бессердцевинное волокно

## 1. Введение

Активные исследования волоконных структур со вставками нестандартных волокон обусловлены возможностью их применения в качестве датчиков, измеряющих параметры внешней среды. Такими параметрами могут быть: показатель преломления, влажность, соленость, температура, кислотность и другие [1,2]. Измерение параметров внешней среды возможно благодаря возбуждаемым во вставке оболочечным модам. Для получения оптимальных условий интерференции мод оболочки и сердцевины длину вставки необходимо подбирать таким образом, чтобы после выхода части интенсивности из сердцевины в оболочку интенсивность в сердцевине оставалась на уровне 30-50% [3]. Обычно управление распределением мощности между модами сердцевины и оболочечными осуществляется изменением длины вставки. Однако для малых длин вставки (< 1 мм) контроль ее длины становится затруднительным.

В данной работе предлагается управление распределением мощности между модами изменением диаметра волокна при тейперировании бессердцевинной вставки. Для определения оптимальной длины вставки бессердцевинного волокна был произведен расчёт коэффициентов пропускания для различных мод в системе Matlab .

## 2. Волоконная структура

Структура состоит из стандартного волокна (SMF-28) и отрезка бессердцевинного волокна длиной около от 0.1 до 1 мм. Вставка делается свариванием отрезка специального волокна между двумя стандартными волокнами с использованием аппарата для сварки оптических волокон. Тейперирование вставки происходит посредством нагрева и вытягивания в электрической дуге сварочного аппарата. Получаемая структура изображена на рисунке 1.



Рисунок 1: Тейперированная вставка бессердцевинного волокна

### 3. Моделирование

Для расчета поля на выходе структуры были найдены значения эффективных показателей преломления  $n_{\text{eff}}$  всех мод бессердцевинного волокна. Затем с помощью интеграла перекрытия можно получить коэффициенты преобразования моды сердцевинны в моды вставки:

$$c_i = \int E_i E'_{co} dS = \int_0^{\infty} E_i(r) E'_{co}(r) r dr \quad (1)$$

где  $E_i$  – поле  $i$ -ой моды вставки,  $E'_{co}$  – поле сердцевинны волокна SMF-28.

Затем рассчитывается набег фазы для каждой моды бессердцевинного волокна. Домножив амплитуду поля на набег фазы, можно найти поле в выходном стыке вставки. Сумма полей вставки, домноженных на коэффициенты преобразования, даст поле после прохождения вставки:

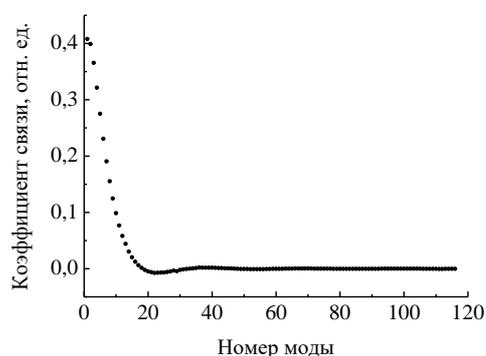
$$E_b = \sum_{i=1}^m c_i E_i \exp(in_i^{(\text{eff})} k_0 z) \quad (2)$$

где  $m$  – число рассчитанных мод бессердцевинной вставки.

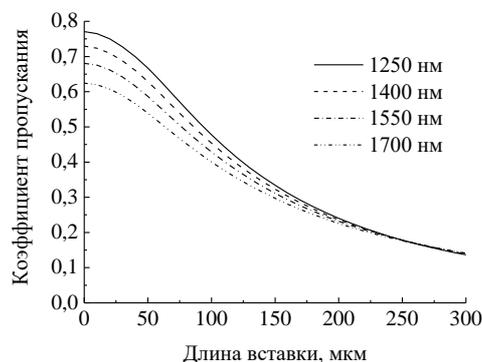
На выходном стыке волокон моды бессердцевинного волокна преобразуются в моду сердцевинны стандартного волокна. Возведя по модулю в квадрат интеграл перекрытия между полем после прохождения вставки и модой сердцевинны SMF-28 можно получить коэффициент пропускания:

$$T = |c|^2 = \left| \int E_b E'_{co} dS \right|^2 \quad (3)$$

С использованием уравнения (3) был рассчитан коэффициент пропускания волоконной структуры с длиной вставки от 0 до 300 мкм, на длине волны от 1250 до 1700 нм:



**Рисунок 2:** Зависимость коэффициента связи от номера моды



**Рисунок 3:** Зависимость коэффициента пропускания от длины вставки

Моделирование показало, что большая часть интенсивности сосредоточена в первых двадцати модах бессердцевинного волокна. Для получения необходимого коэффициента пропускания 30-50% необходима вставка длиной от 100 до 180 мкм.

### 4. Литература

- [1] Zhao, Y. Refractive index sensitivity enhancement of optical fiber cladding mode by depositing nanofilm via ALD technology / Y. Zhao, F. Pang, Y. Dong, J. Wen, Z. Chen, T. Wang // Opt. Express. – 2013. – Vol. 21(22). – P. 26136-26143.
- [2] Wang, X.A. High-temperature humidity sensor based on a singlemode-side polished multimode-singlemode fiber structure / X.A. Wang, K. Tian, L. Yuan, E. Lewis, G. Farrell, P. Wang // J. Lightwave Technol. – 2018. – Vol. 36(13). – P. 2730-2736.
- [3] Иванов, О.В. Интерферометр на основе двух волоконных вставок с тонкой сердцевинной / О.В. Иванов // Фотон-экспресс (ВКВО). – 2019. – С. 58-59.