



Всероссийская конференция  
по волоконной оптике  
Пермь, 12-14 октября 2011 г.

# ВАРИАЦИЯ МИКРОСТРУКТУР ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВЫХ СВЕТОВОДОВ С БОЛЬШОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

В.В. Демидов  
К.В. Дукельский  
А.В. Комаров  
В.С. Шевандин

Докладчик  
Владимир Демидов

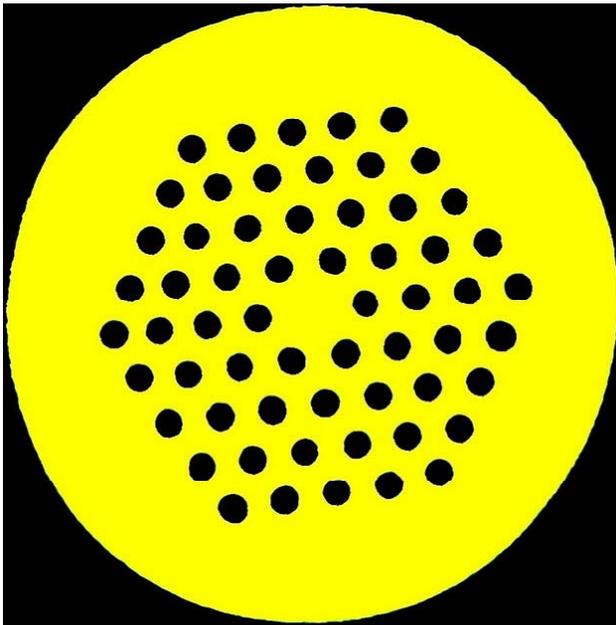
*ОАО Научно-исследовательский и технологический институт  
оптического материаловедения ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»  
г. Санкт-Петербург*



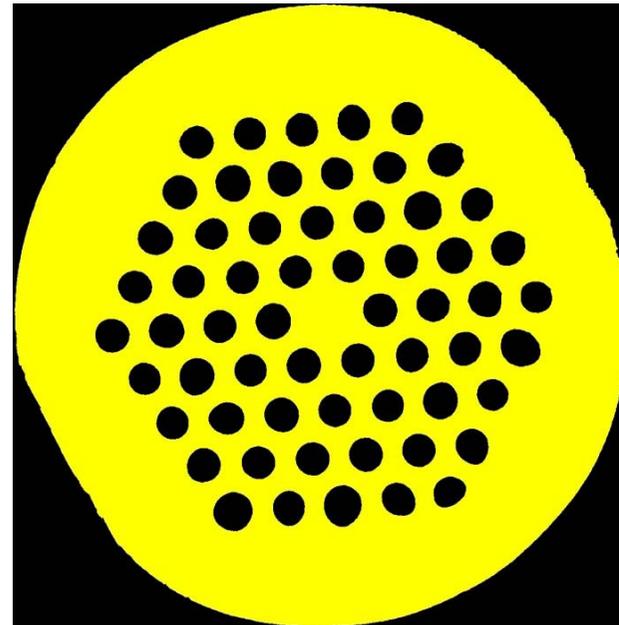
## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ (ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ) ВОЛОКОННЫЙ СВЕТОВОД НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

Условие отсечки высшей моды:  $d/\Lambda \leq 0.46$

$d$  – диаметр отверстия оболочки,  $\Lambda$  – шаг периодической структуры



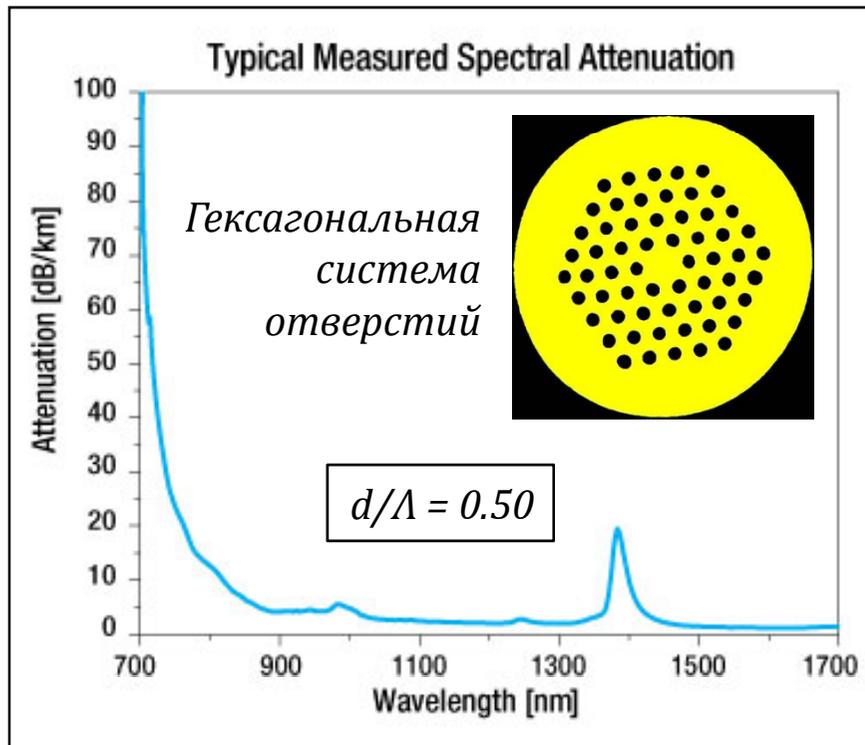
ОДНОМОДОВЫЙ РЕЖИМ  
 $d/\Lambda = 0.46$



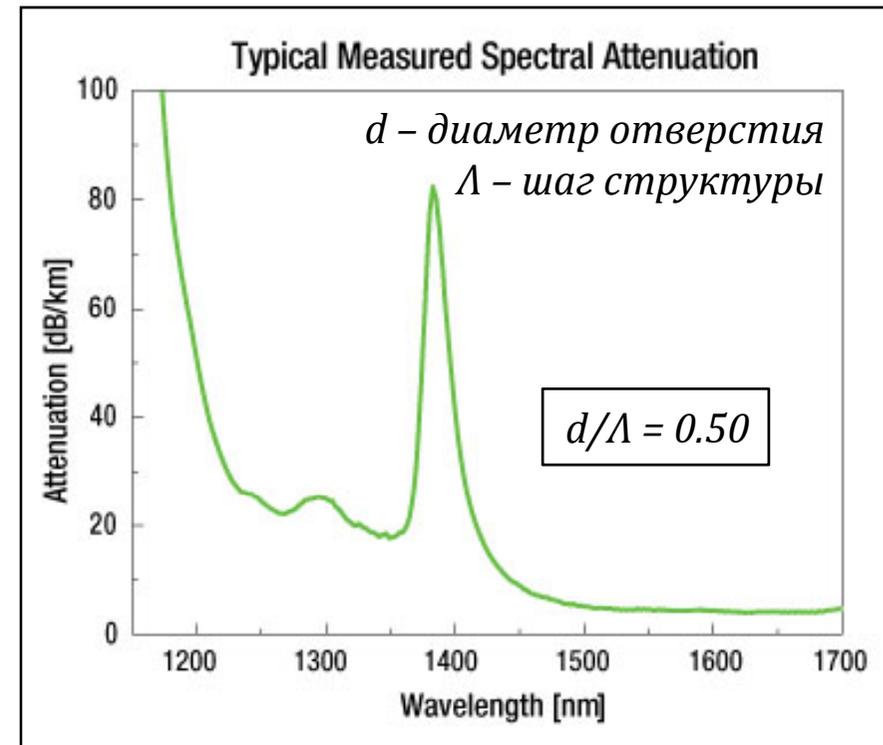
МНОГОМОДОВЫЙ РЕЖИМ  
 $d/\Lambda = 0.60$



## ИЗГИБНЫЕ ПОТЕРИ В ОДНОМОДОВЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СВЕТОВОДАХ С ОДНОЭЛЕМЕНТНОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ



Диаметр сердцевины 25 мкм  
(LMA-25 NKT Photonics)

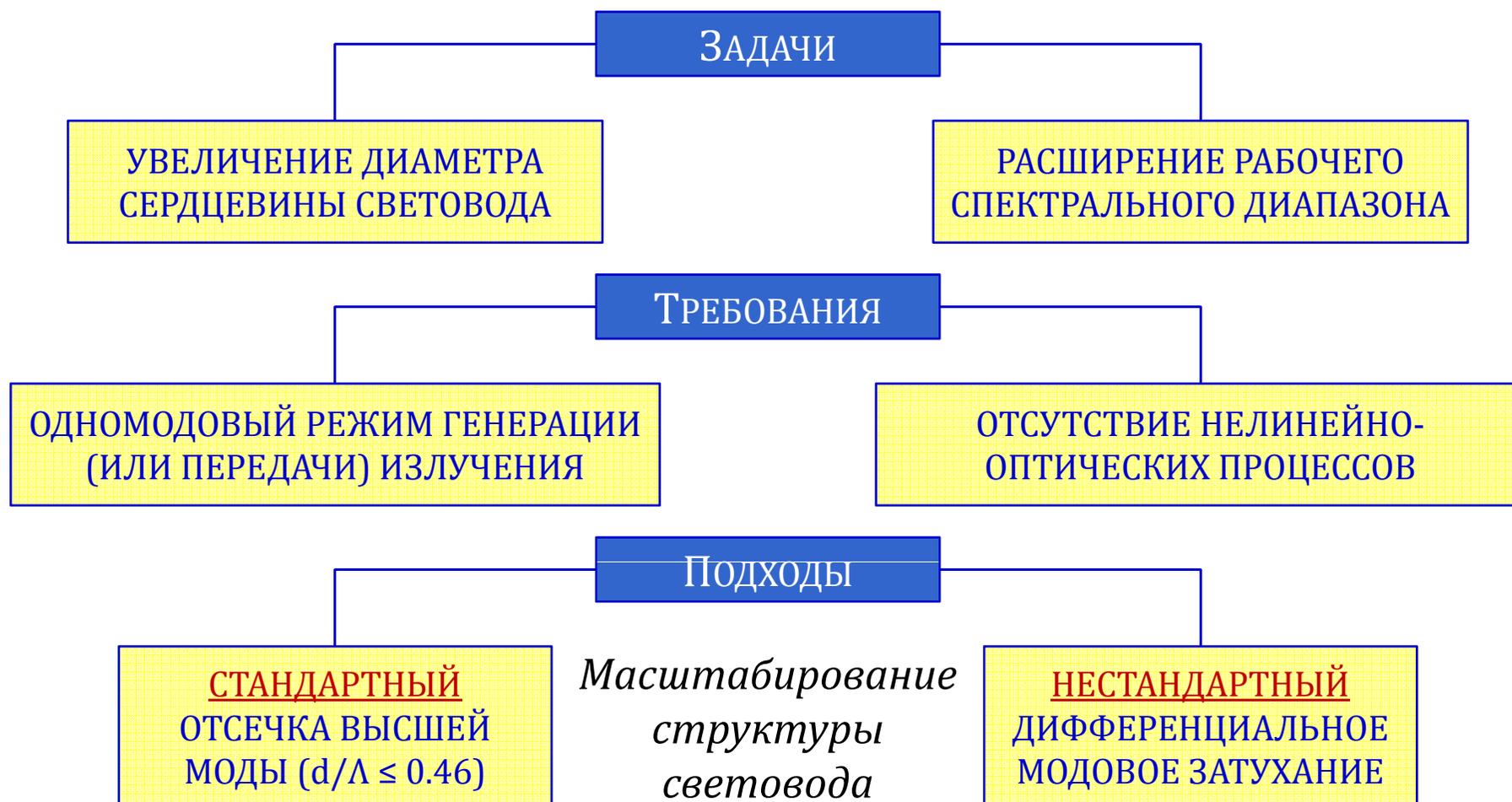


Диаметр сердцевины 35 мкм  
(LMA-35 NKT Photonics)

Измерения оптических потерь проводились при размещении волоконных световодов на **НЕСТАНДАРТНЫХ** катушках диаметром 32 см

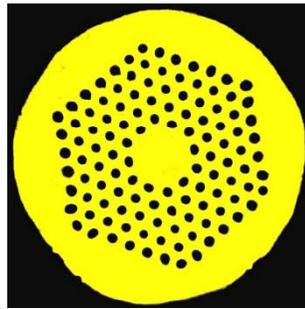


# ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СВЕТОВОДОВ С БОЛЬШОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

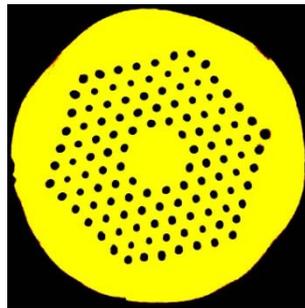




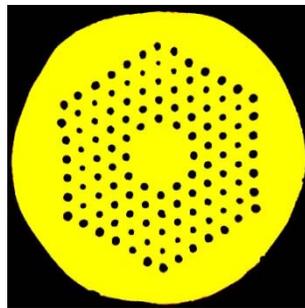
## Модовый состав излучения и СПЕКТР ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЕТЕВОДЕ С 7-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ ДИАМЕТРОМ 35 МКМ



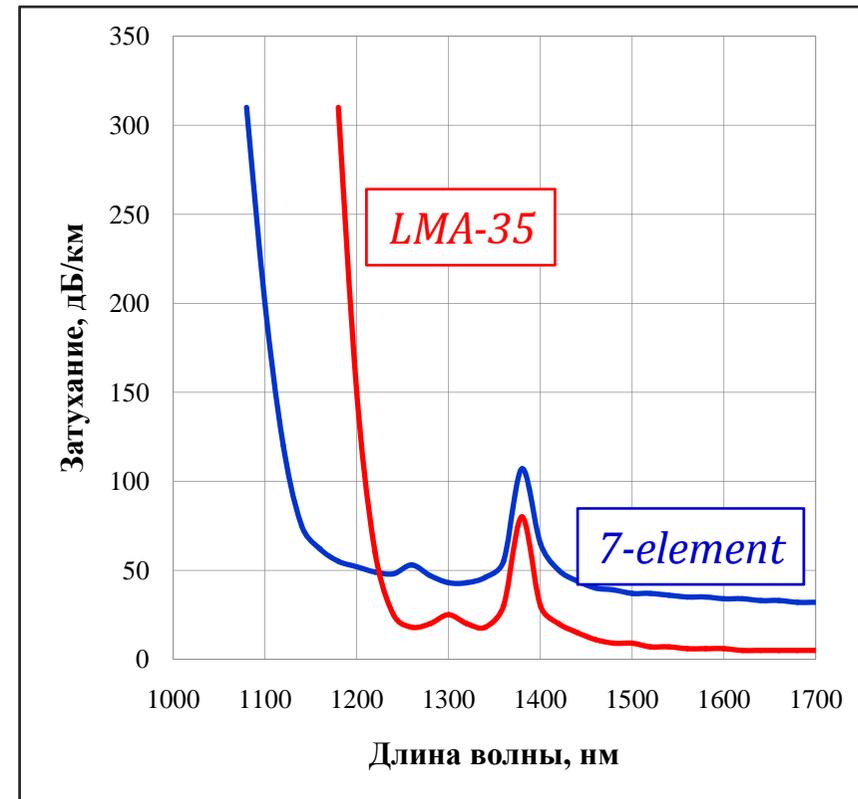
$d/\Lambda \sim 0.4$	
633 nm	ММ
1550 nm	ММ



$d/\Lambda \sim 0.3$	
633 nm	ОМ
1550 nm	ММ



$d/\Lambda \sim 0.2$	
633 nm	Вытек.
1550 nm	ОМ



Условие отсечки высшей моды  
для микроструктурированного световода  
с 7-элементной сердцевиной:  $d/\Lambda \leq 0.046$

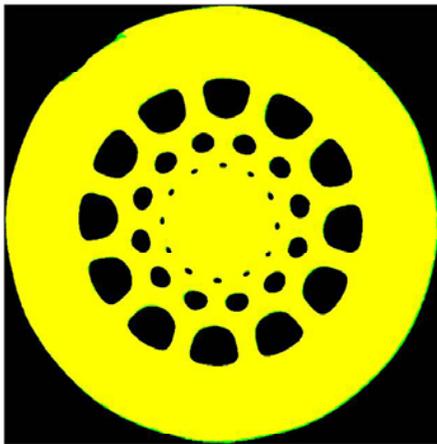


## МИКРОСТРУКТУРЫ С БОЛЬШОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ, ОСНОВАННЫЕ НА ЯВЛЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО МОДОВОГО ЗАТУХАНИЯ

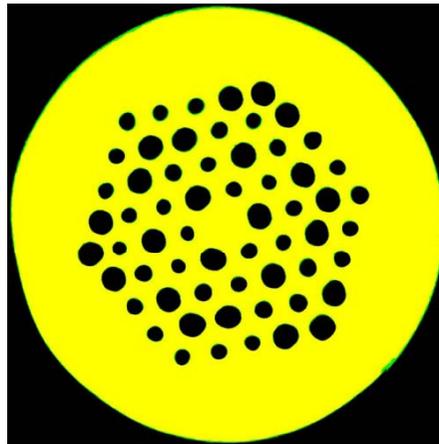
*Образцы световодов изготавливались из коммерчески доступного синтетического кварцевого стекла по стандартной «stack-and-draw» технологии*

**ОТЛИЧИТЕЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ – ОТСУТСТВИЕ ОТСЕЧКИ ВЫСШЕЙ МОДЫ**

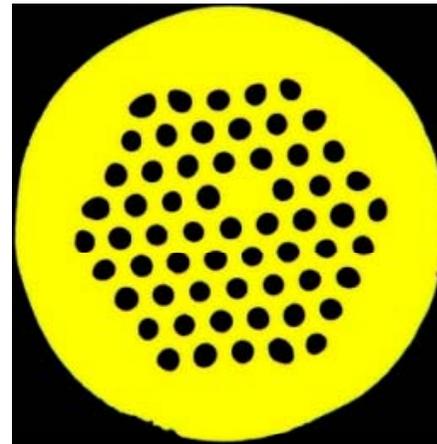
Циклическая  
структура



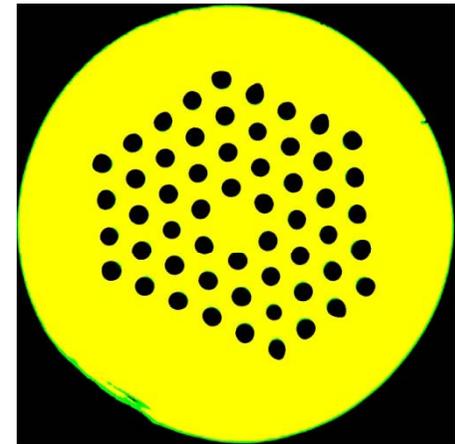
Структура  
с симметрией  $C_{3v}$



Смещенная  
сердцевина



Неполная  
оболочка

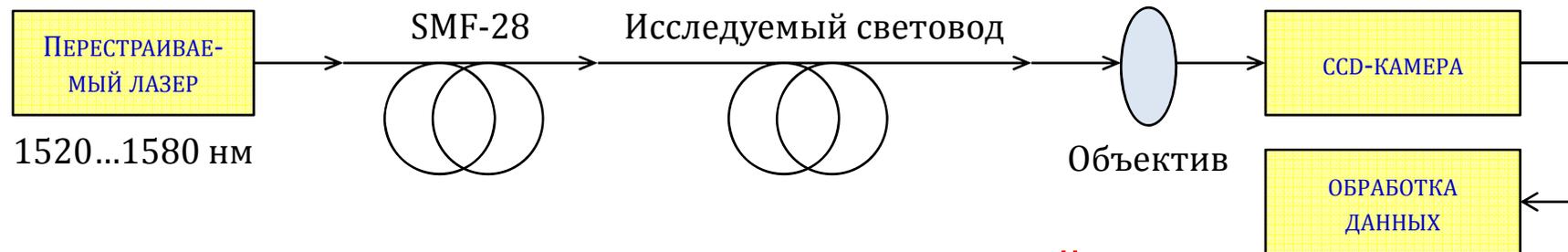


*Относительное содержание воздуха в структурированной оболочке световода варьировалось за счет изменения давления и температуры*

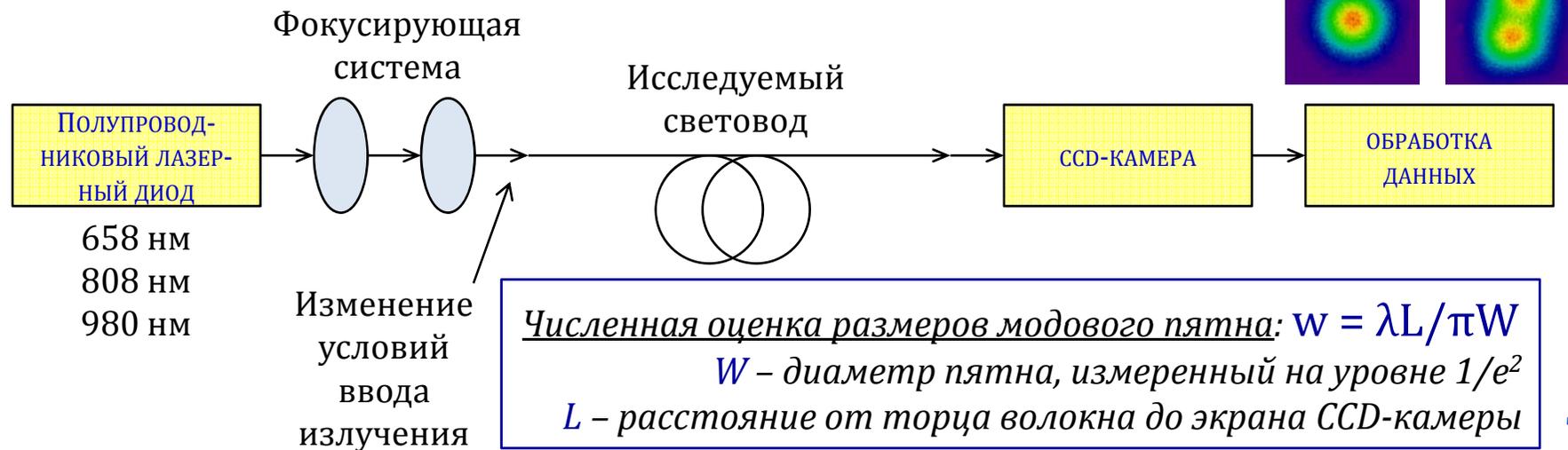


# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДОВОГО СОСТАВА ПЕРЕНОСИМОГО СВЕТОВОДАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

## 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

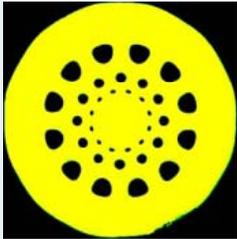
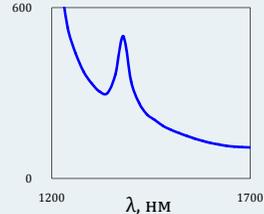
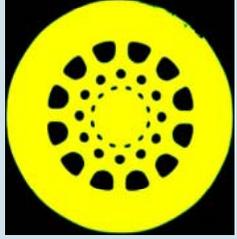
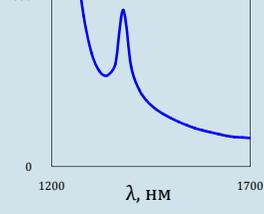


## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ





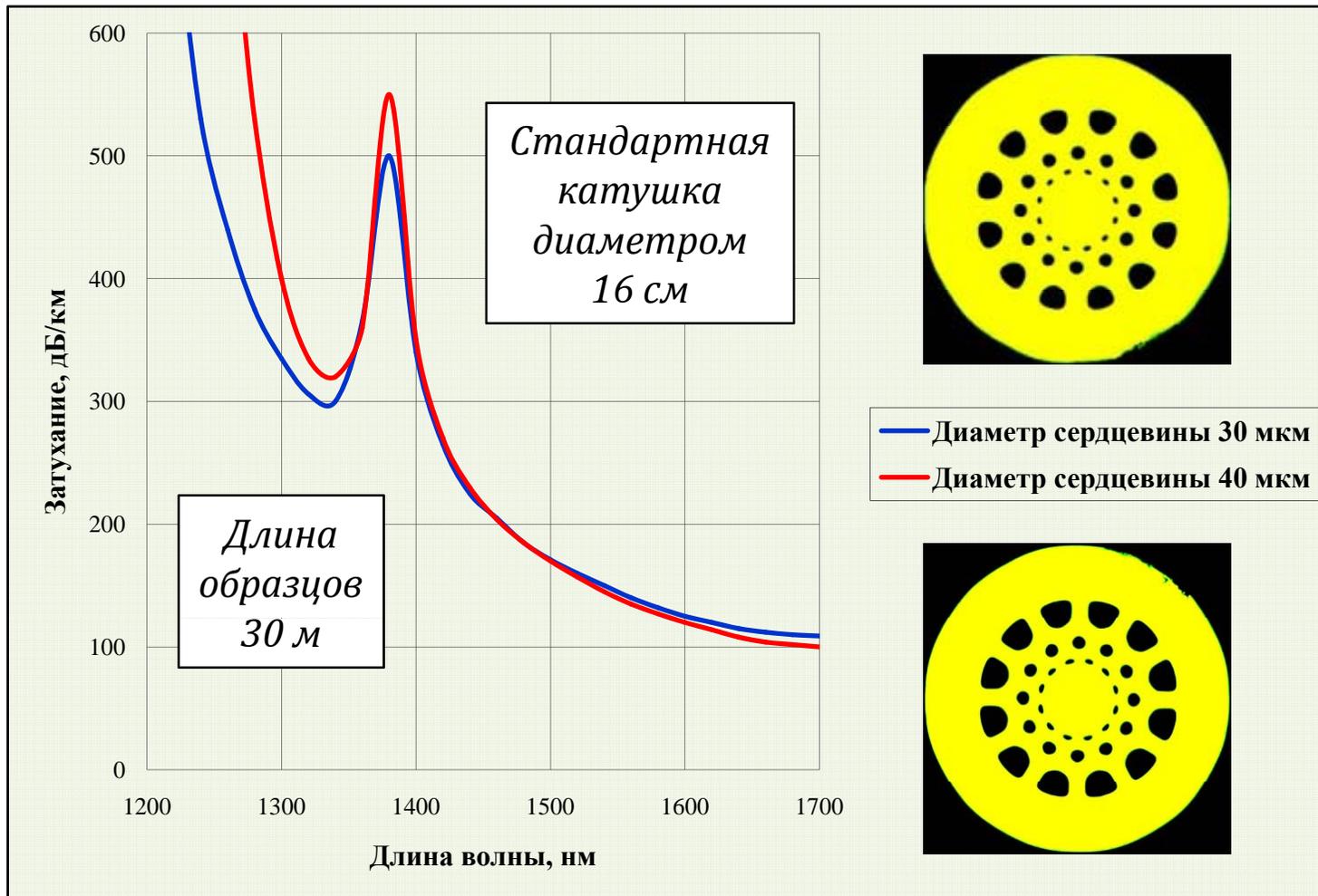
## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД С БОЛЬШОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ И ЦИКЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ОТВЕРСТИЙ

Диаметр сердцевинны, мкм	МОДОВЫЙ СОСТАВ (РАЗМЕР ПЯТНА ОСНОВНОЙ МОДЫ, МКМ)				Структура световода	Затухание, дБ/км
	$\lambda = 658$ нм	$\lambda = 808$ нм	$\lambda = 980$ нм	$\lambda = 1550$ нм		
30	1 (17.1)	1 (18.3)	1 (18.8)	1 (24.0)		
40	Вытекание	1 (25.7)	1 (27.3)	1 (31.5)		

*Циклическая структура отличается от традиционной гексагональной тем, что число отверстий в циклах по мере удаления от сердцевины световода остается неизменным и достаточно велико. В нашем случае количество отверстий в каждом из трех циклов, окружающих сердцевину, составляет 12.*

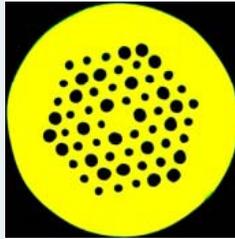
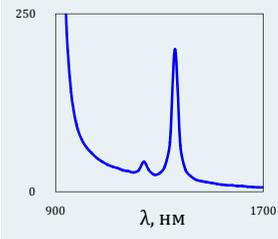
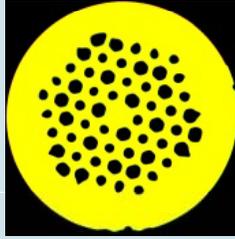
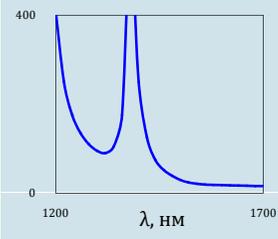


# МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД С БОЛЬШОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ И ЦИКЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ОТВЕРСТИЙ





## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД С БОЛЬШОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ И СИММЕТРИЕЙ ОБОЛОЧКИ $C_{3V}$

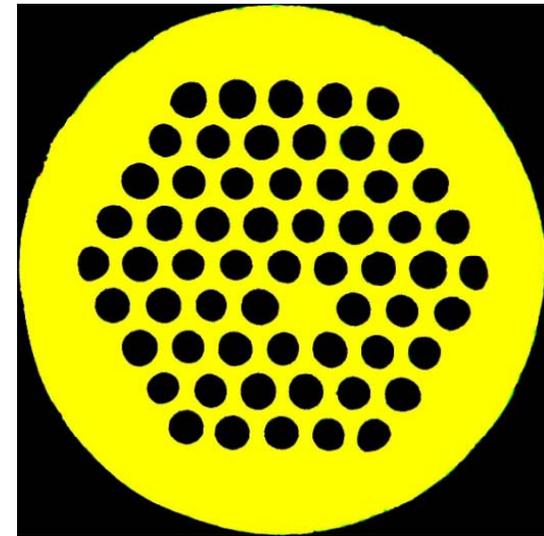
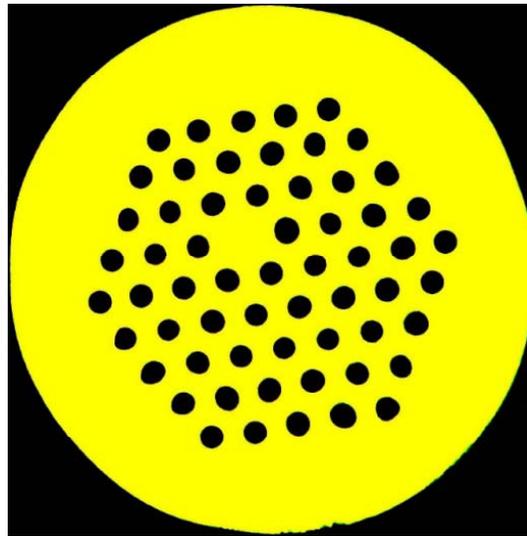
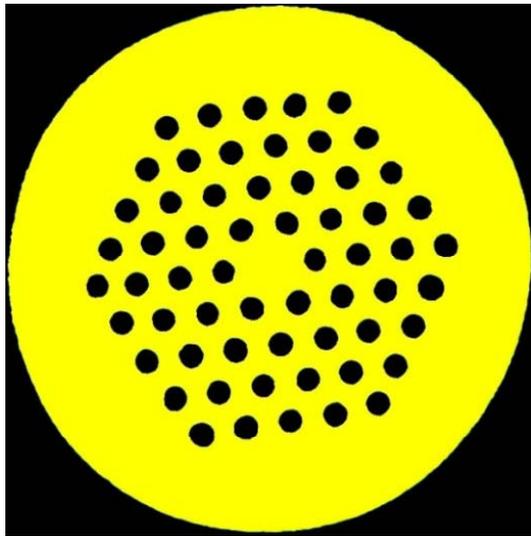
Диаметр сердцевинны, мкм	МОДОВЫЙ СОСТАВ (РАЗМЕР ПЯТНА ОСНОВНОЙ МОДЫ, МКМ)			Структура световода	Затухание, дБ/км
	$\lambda = 808$ нм	$\lambda = 980$ нм	$\lambda = 1550$ нм		
25	Вытекание	1 (16.8)	1 (19.6)		
35	Вытекание	Вытекание	1 (24.4)		

*Сочетание отверстий большого и малого диаметров имеет следствием необходимое соотношение коэффициентов затухания основной и высшей мод и, как результат, практическую реализацию одномодового режима передачи излучения при расположении световода на стандартной транспортировочной катушке диаметром 16 см*



## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД СО СМЕЩЕННОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

---



*В световодных структурах высшая мода отличается от основной более широким модовым полем. По этой причине при заполнении стеклом не центрального, а соседнего с ним отверстия в гексагональной структуре, образующего смещенную сердцевину, высшая мода испытывает существенно большее затухание по сравнению с основной: ее излучение интенсивнее вытекает в близко расположенную конструкционную оболочку.*

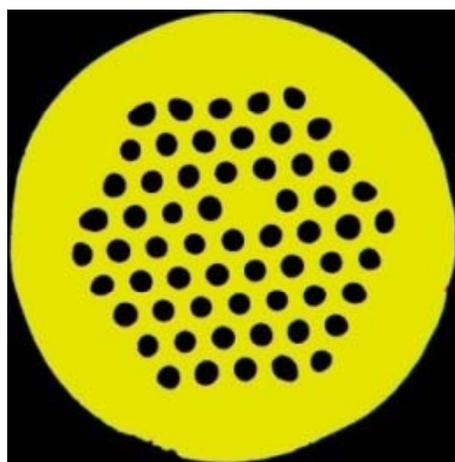


## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД СО СМЕЩЕННОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

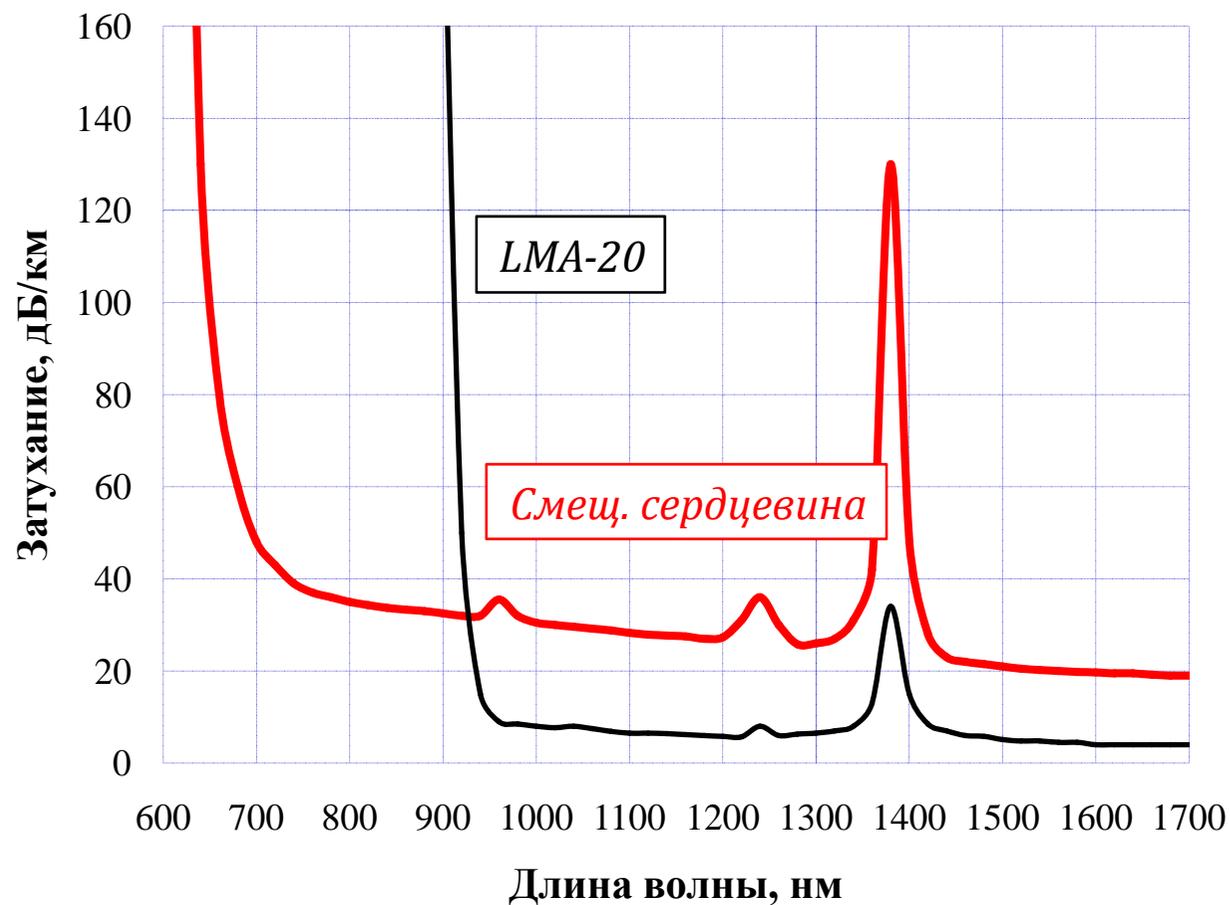
Тип СВЕТОВОДА	Диаметр сердцевины, мкм	d/Λ	Длина образца, м	Модовый состав (размер пятна основной моды, мкм)		
				λ = 658 нм	λ = 808 нм	λ = 980 нм
1 <sub>СМЕЩ</sub>	12.5	0.35	10	1 (10.4)	1 (11.8)	1 (11.8)
2 <sub>СМЕЩ</sub>	12.5	0.52	10	2	2	2
3 <sub>СМЕЩ</sub>	20.0	0.51	10	1 (13.4)	1 (14.1)	1 (14.2)
4 <sub>СМЕЩ</sub>	20.0	0.60	10	1 (12.3)	1 (13.0)	1 (13.4)
5 <sub>СМЕЩ</sub>	20.0	0.81	10	2	2	2
1 <sub>ЦЕНТР</sub>	20.0	0.65	20	ВЫТЕКАНИЕ	1 (14.7)	1 (15.7)
2 <sub>ЦЕНТР</sub>	22.0	0.65	20	ВЫТЕКАНИЕ	1 (15.3)	1 (15.8)
3 <sub>ЦЕНТР</sub>	22.0	0.67	20	ВЫТЕКАНИЕ	1 (13.9)	1 (14.9)



## ИЗГИБНЫЕ ПОТЕРИ В МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОМ СВЕТОВОДЕ СО СМЕЩЕННОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ ДИАМЕТРОМ 20 мкм при $d/\Lambda = 0.60$



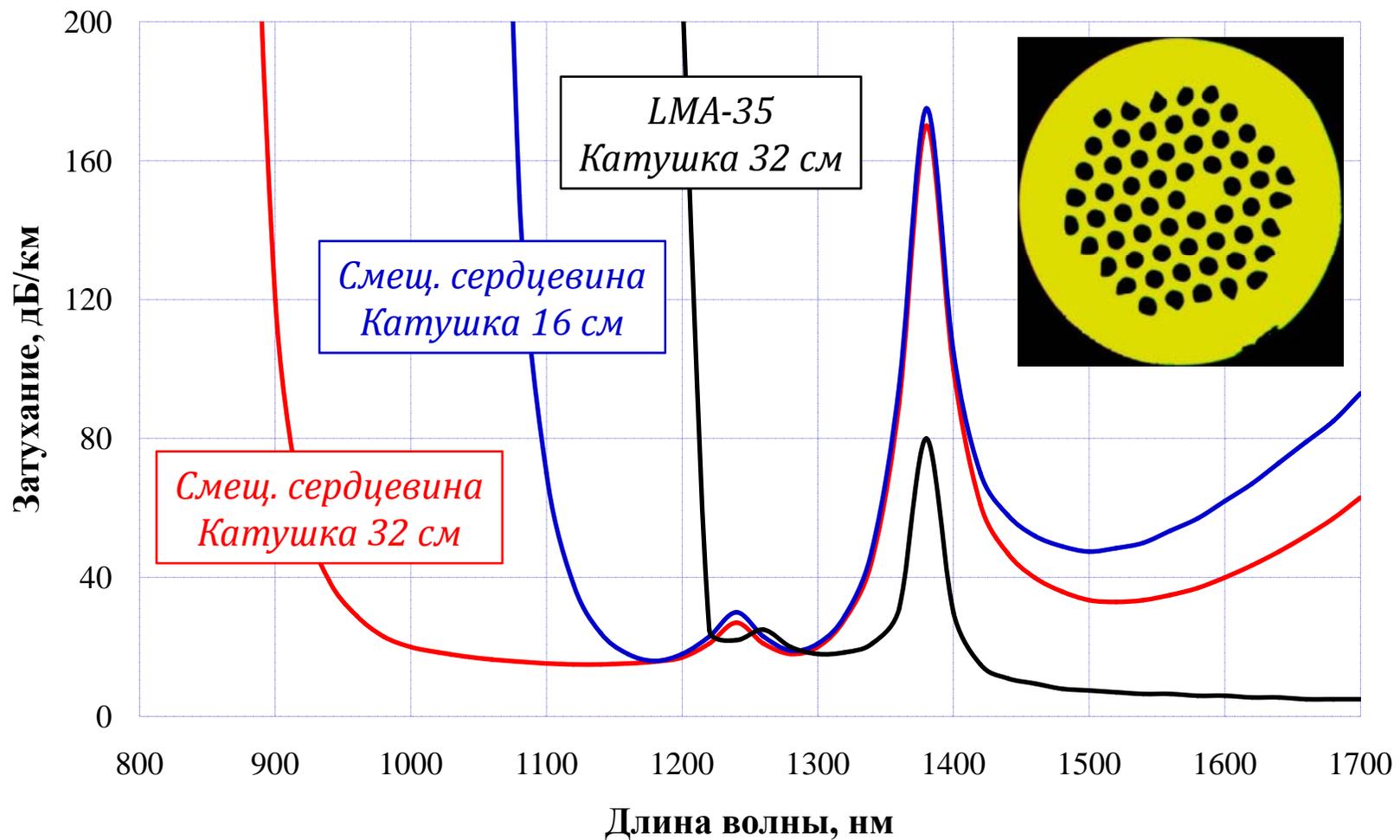
*Смещение сердцевин  
МС-световода  
сопровождается  
повышенным затуханием  
излучения высшей моды  
(по нашей оценке –  
2-6 дБ/м)*



*Стандартная катушка диаметром 16 см*



# ИЗГИБНЫЕ ПОТЕРИ В МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОМ СВЕТОВОДЕ СО СМЕЩЕННОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ ДИАМЕТРОМ 35 мкм ПРИ $d/\Lambda = 0.65$

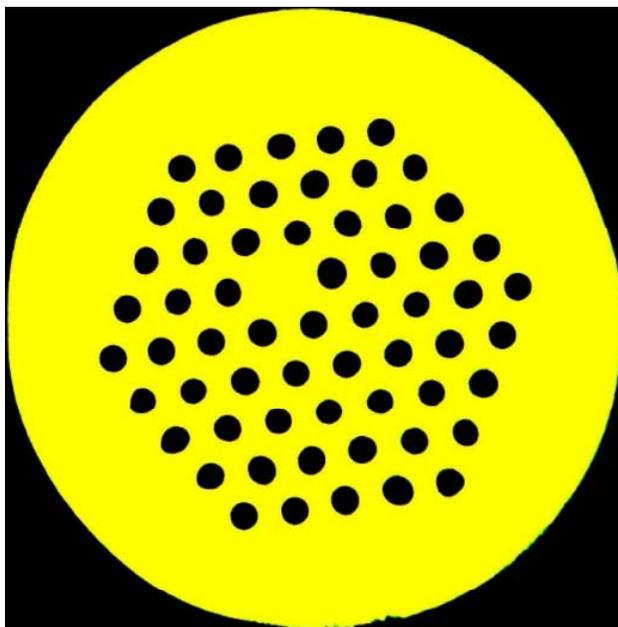




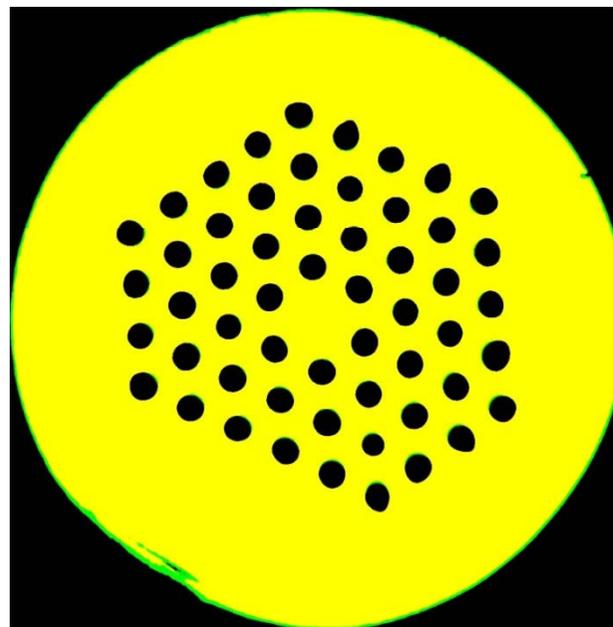
## МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД С НЕПОЛНОЙ (НЕЗАВЕРШЕННОЙ) ОБОЛОЧКОЙ

---

СМЕЩЕННАЯ  
СЕРДЦЕВИНА

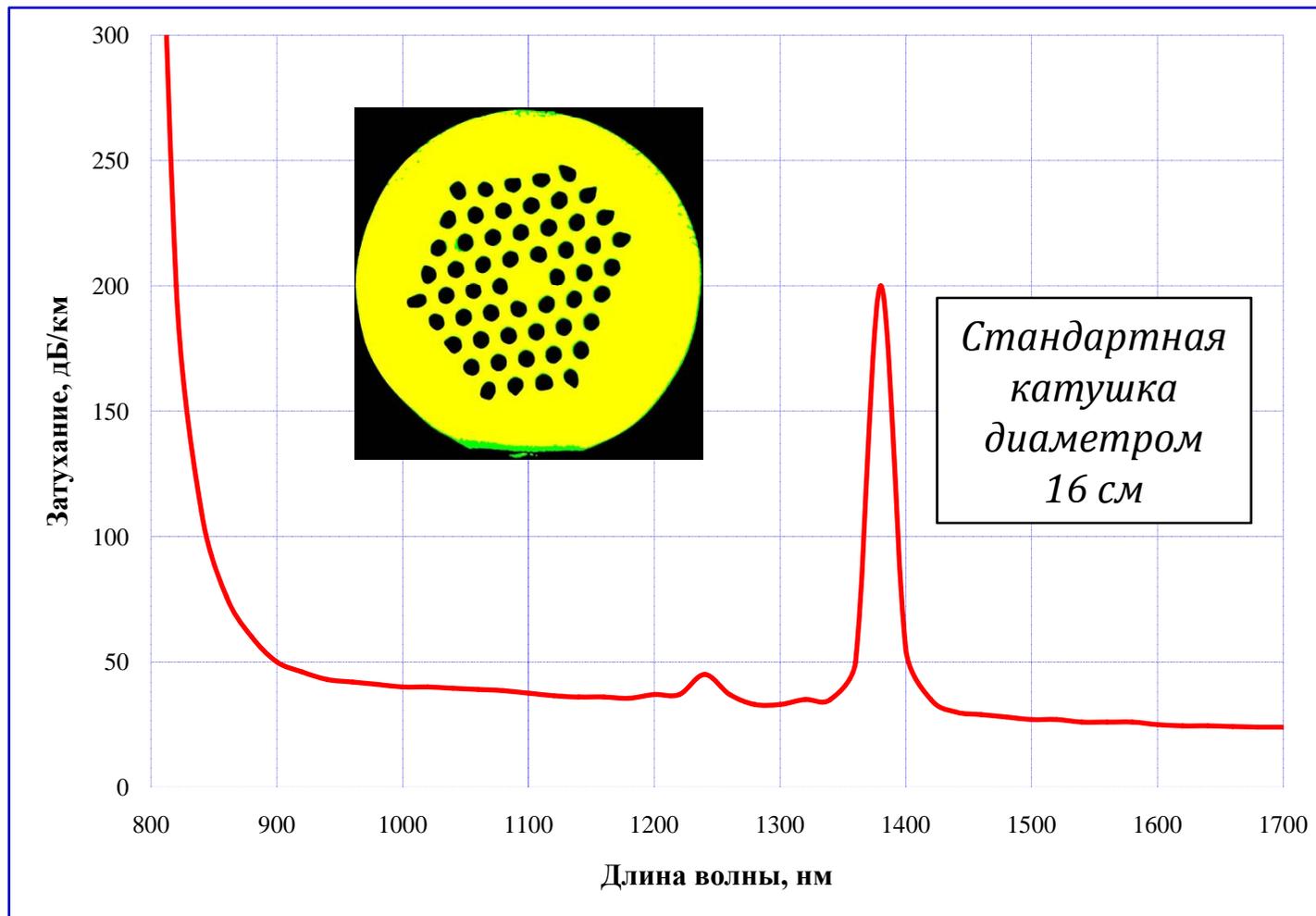


НЕПОЛНАЯ  
ОБОЛОЧКА



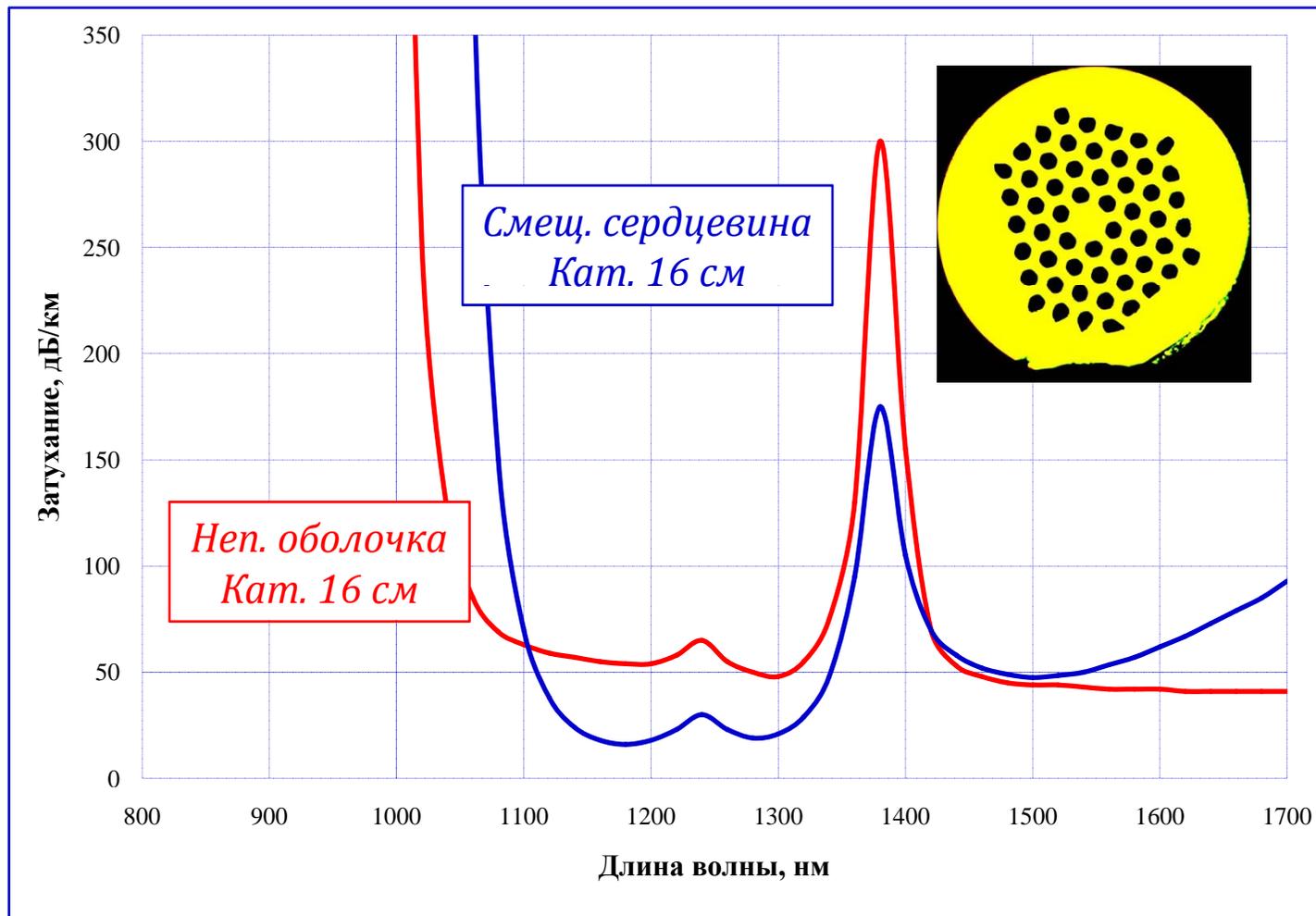


# МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД С НЕПОЛНОЙ ОБОЛОЧКОЙ ( $d/\Lambda = 0.58$ ) И СЕРДЦЕВИНОЙ ДИАМЕТРОМ 25 МКМ





# МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ СВЕТОВОД С НЕПОЛНОЙ ОБОЛОЧКОЙ ( $d/\Lambda = 0.63$ ) И СЕРДЦЕВИНОЙ ДИАМЕТРОМ 35 МКМ





## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

- Представлены четыре типа микроструктурированных волоконных световодов на основе кварцевого стекла с сердцевинной большого размера ( $\emptyset = 20\text{-}40$  мкм):
  - с циклической системой отверстий оболочки
  - с оболочкой симметрии  $C_{3v}$
  - со смещенной одноэлементной сердцевинной
  - с неполной оболочкой
  
- Одномодовый режим передачи излучения практически достигается в указанных микроструктурах за счет существенной разницы в коэффициентах затухания основной и высшей мод в условиях намотки
  
- Представленные одномодовые световоды отличаются от аналогов повышенной устойчивостью к изгибу и, как следствие, расширенным рабочим спектральным диапазоном