

УМК

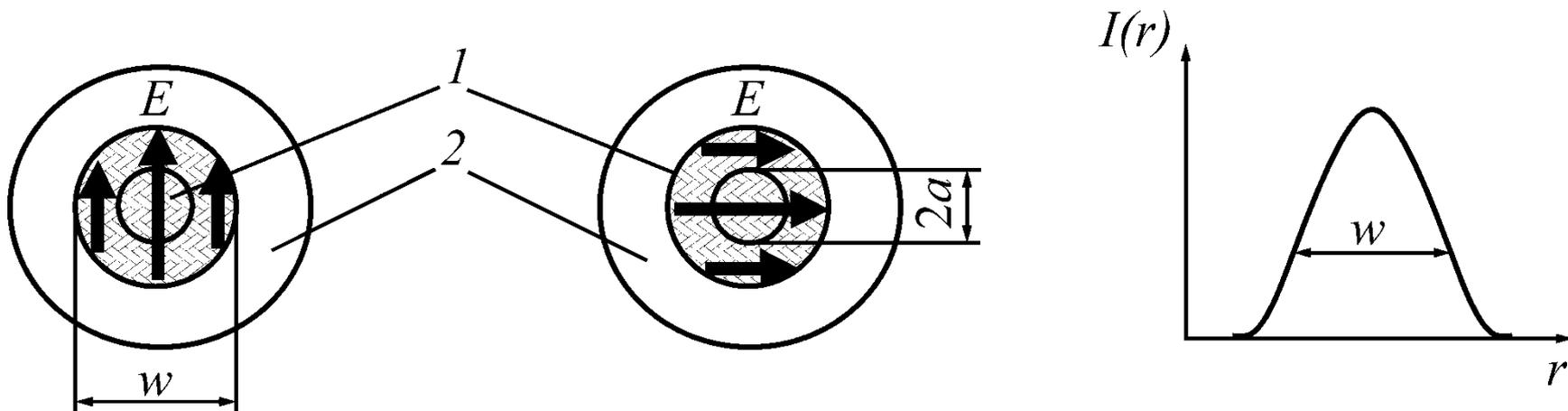
Специальные волоконные световоды

Тема 4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Специальные ОВ:

- - ОВ, сохраняющие поляризацию излучения и поляризующие волокна;
- - Радиационно-стойкие ОВ;
- - Активные ОВ;
- - Микроструктурированные ОВ

ОВ, сохраняющие поляризацию излучения



Распределение интенсивности ($I(r) \sim \exp[-2r^2/(w/2)^2]$) и направление электрического поля E в поляризационных модах волокна: 1 – сердцевина; 2 – оболочка; w – диаметр модового пятна; $2a$ – диаметр сердцевины

$V = \lambda / L_6$, где V – ДЛП, равное $\Delta n = n_{\text{медл}} - n_{\text{бьст}}$.

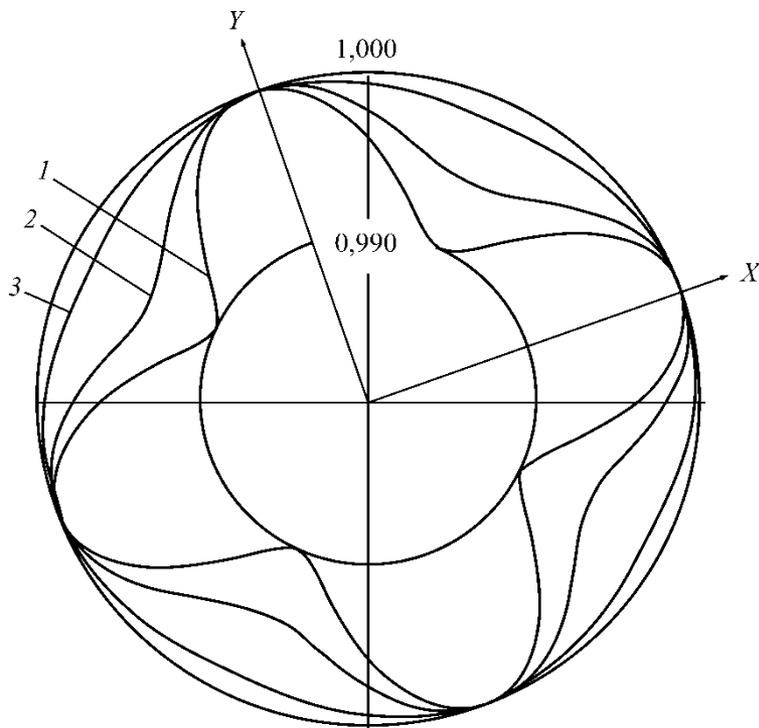
L_6 -длина биения на длине волны λ

ОВ с малым ДЛП

$V(\varphi) = (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) / (I_{\text{max}} + I_{\text{min}})$ – функция видности,

где I_{max} и I_{min} – максим.и миним. интенсивности света

$$V^2(\varphi) = 1 - \text{Sin}^2 R \times \text{Sin}^2 2\varphi$$



Зависимость функции видности от угла φ при различных фазовых задержках R :

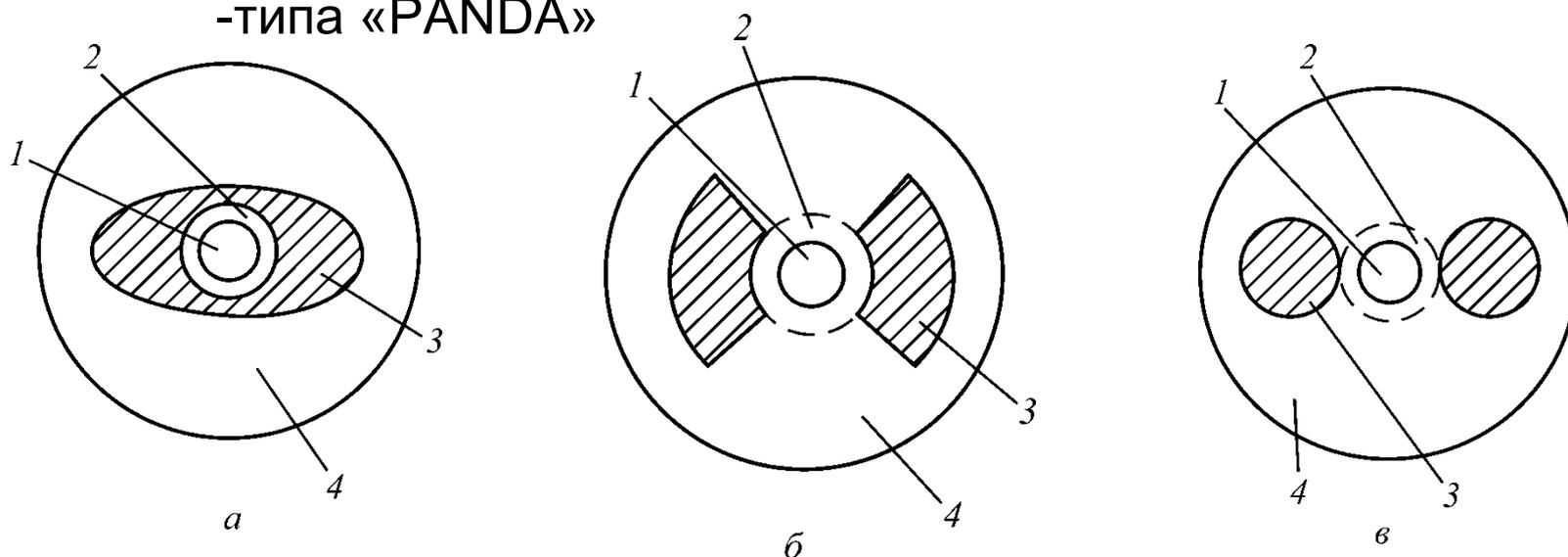
1 – 8° , 2 – 6° , 3 – 3°

АОВ с большим ДЛП:

-с эллиптической сердцевиной и с круглой сердцевиной,

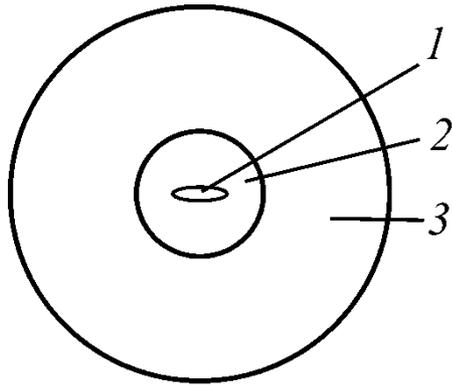
-типа «галстук-бабочка»,

-типа «PANDA»

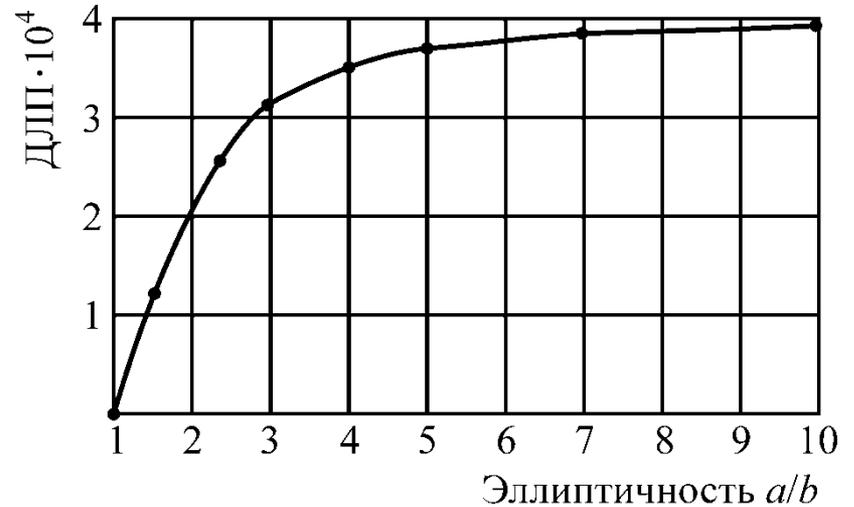


Структура АОВ с круглой сердцевиной: а – с «напрягающей» эллиптической оболочкой, б – типа «галстук-бабочка», в – типа «PANDA»: 1 – германосиликатная сердцевина; 2 –буферная оболочка; 3 – напрягающие элементы; 4 – технологическая кварцевая оболочка

Форма ОВ с эллиптической сердцевиной и зависимость ДЛП от отношения осей в сердцеvine: 1- сердцеvine, 2- светоотражающая оболочка, 3 – технологическая кварцевая оболочка



a



б

$$\Delta\beta = 0,2 * \kappa_0 * (a/b-1) * (\Delta n^2) \quad \text{при}$$

$$(a/b-1) \ll 1$$

$$\Delta\beta = 0,25 * \kappa_0 * (\Delta n^2) \quad \text{при}$$

$$(a/b-1) < 6$$

$$\kappa_0 = 2\pi/\lambda - \text{волновое число}$$

АОВ с эллиптической «напрягающей» оболочкой

$$B = - C \times E \times \Delta\alpha \times \Delta T \times \varepsilon / (1 - \nu)$$

C - фотоупругая постоянная, $\text{с}^2 \times \text{м/кг}$;

E – модуль Юнга, Па;

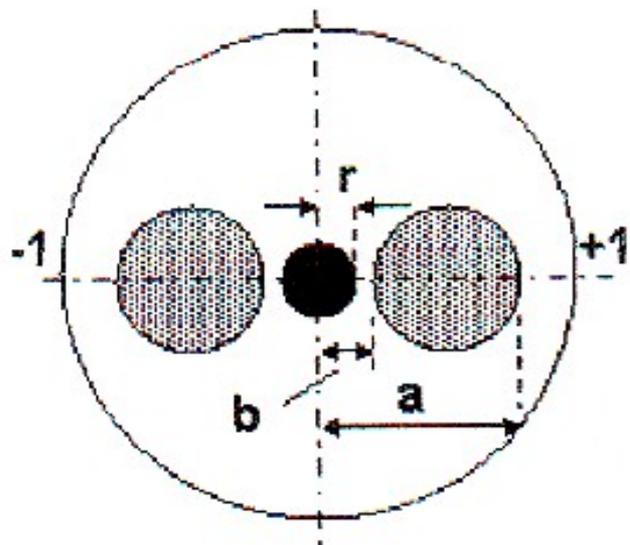
ν – коэффициент Пуассона, К^{-1} ;

$\Delta\alpha = \alpha_{\text{НО}} - \alpha_{\text{квст.}}$ - разность КЛТР материалов «напрягающей» оболочки и кварцевого стекла, К^{-1} ;

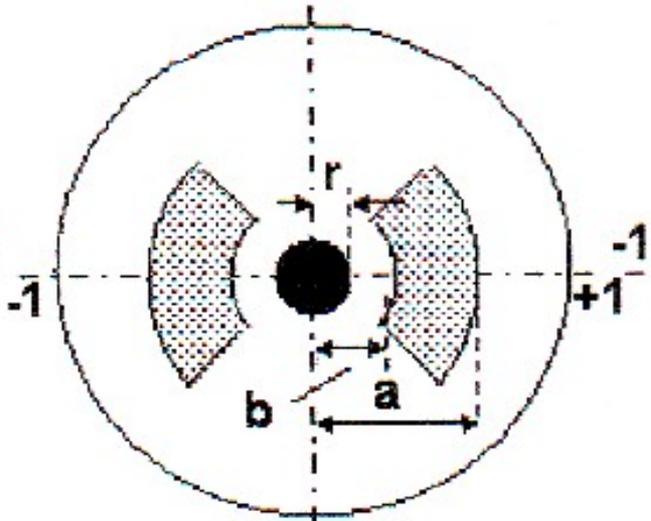
$\Delta T = T_{\text{ф.но}} - T_{\text{ком}}$ – разность температуры размягчения материала оболочки и комнатной температуры, К;

ε – эллиптичность оболочки (6.6).

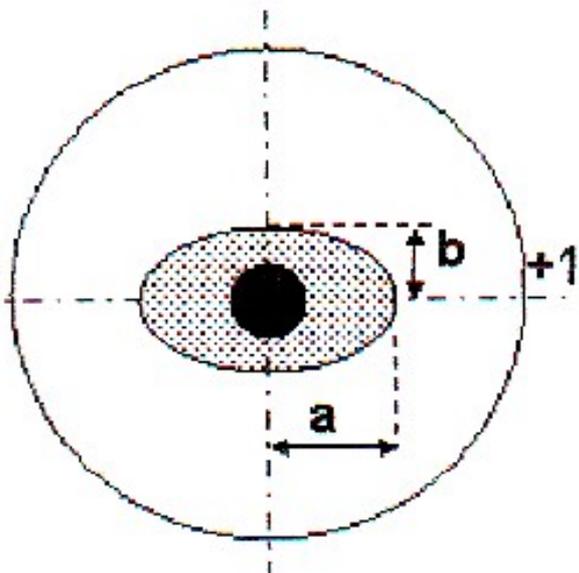
PANDA



Галстук-бабочка

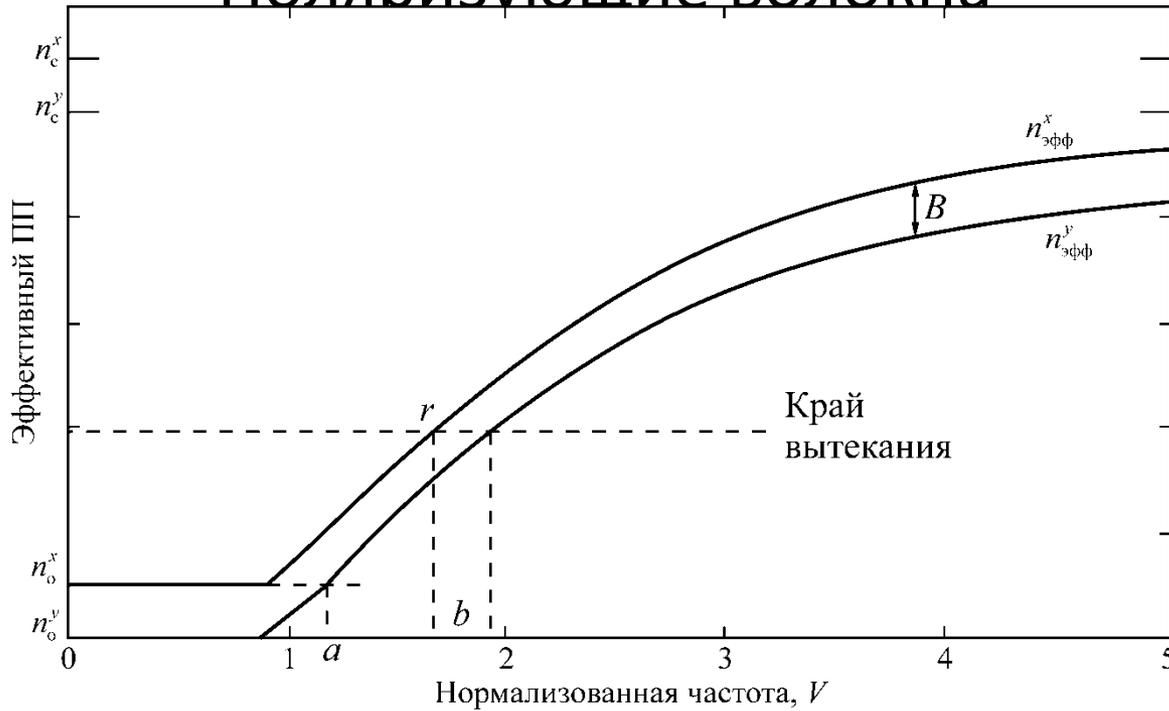


Эллиптическая оболочка

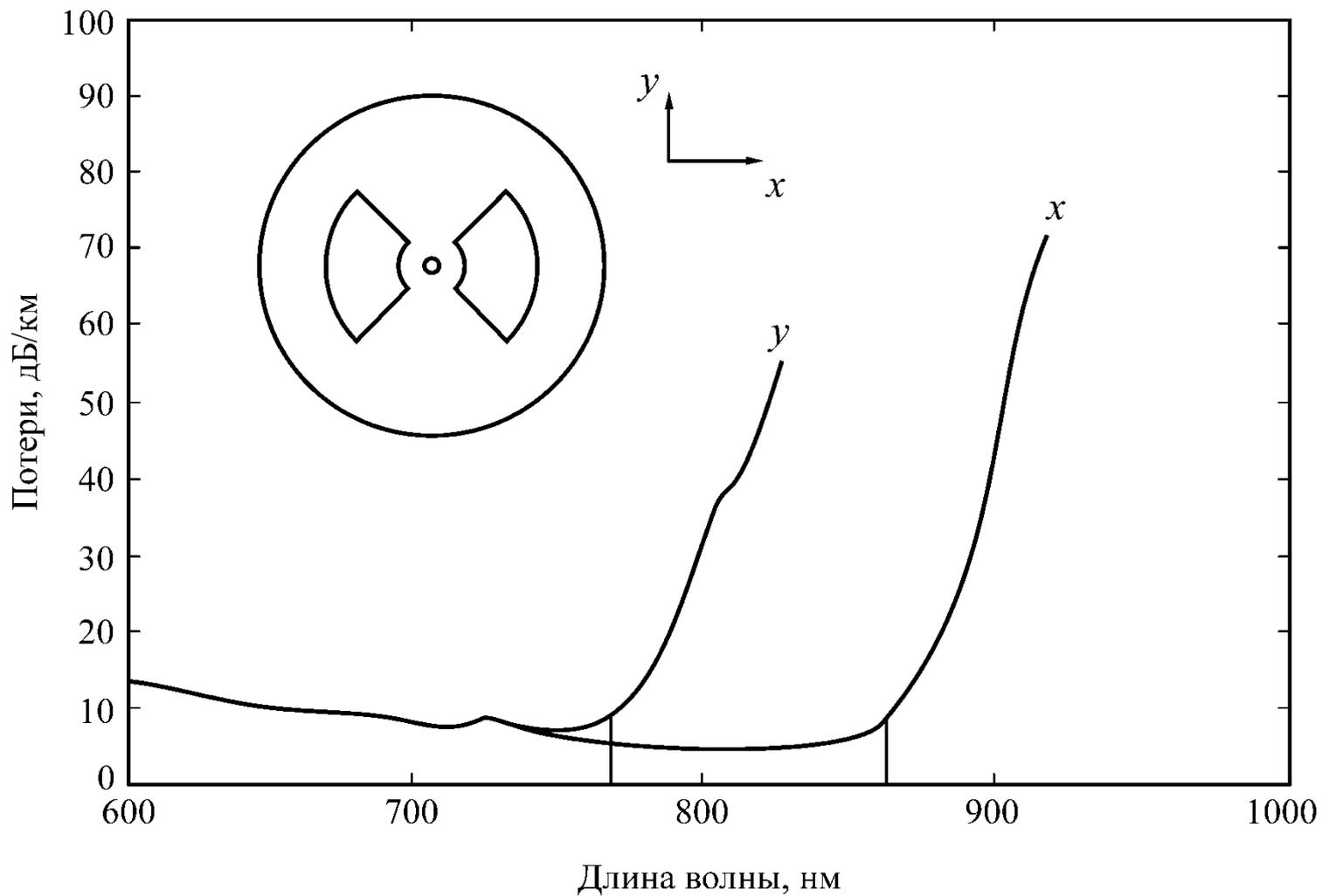


Обозначение геометрических размеров в NiVi- волокнах разной конструкции

Поляризующие волокна



Зависимости эффективных ПП от нормализованной частоты для поляризационных мод в направлениях «х» и «у» АОВ, имеющих ДЛП за счет анизотропии напряжений. a – теоретически предсказанное вытекание, b – экспериментально наблюдаемое вытекание.



Спектральные зависимости полных потерь для «x» и «y» поляризационных мод в АОВ типа «галстук-бабочка».

Активные ОВ

Свойства ионов РЗЭ в кварцевых ОВ

Активный ион	Длина волны накачки, мкм	Область люминесценции, мкм	Время жизни, мс
Nd ³⁺	0,8	0,92...0,94 1,05...1,1	~ 0,5
Ho ³⁺	0,9	1,34	~ 0,5
Er ³⁺	0,98 1,48	1,9...2,1	10÷12
Tm ³⁺	0,79	1,53...1,6	0,2
Yb ³⁺	0,915 0,976	1,7...1,9 0,98...1,16	0,8

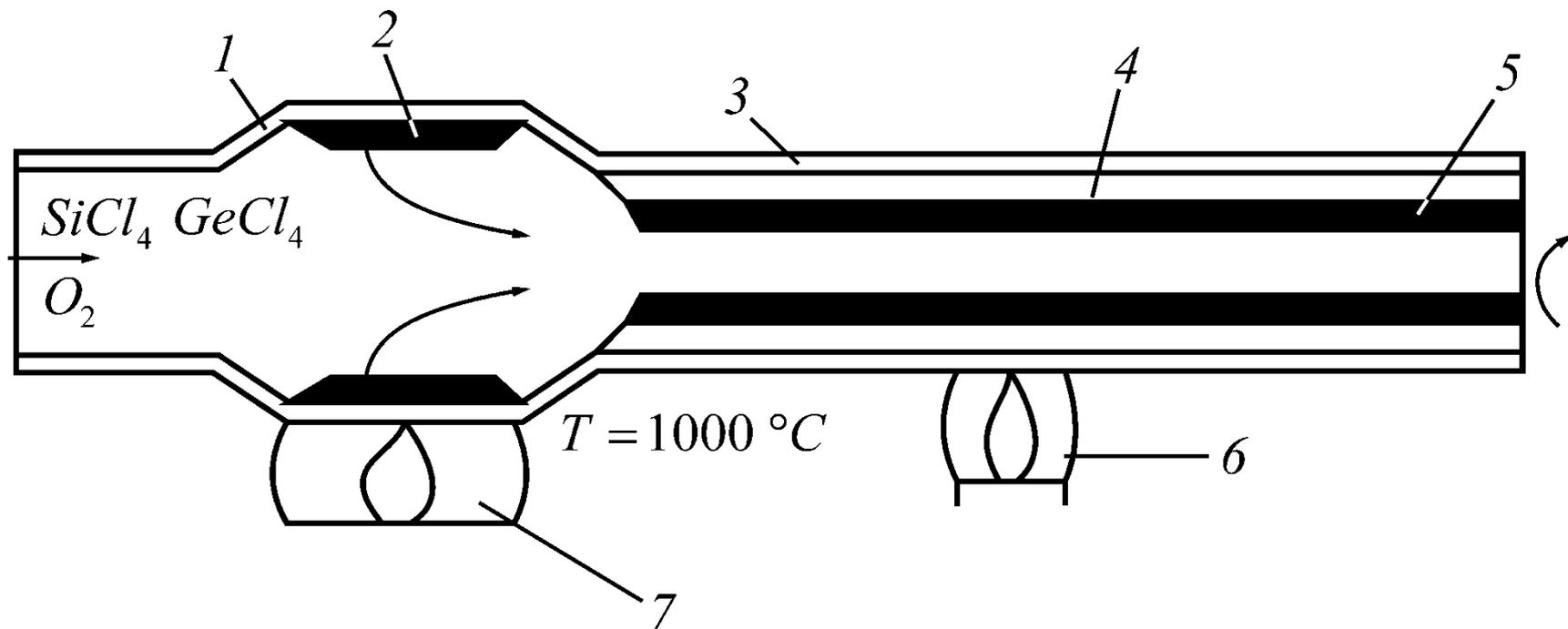


Рис. 6.13. Схема процесса получения заготовки, легированной РЗЭ, с использованием нагретой камеры: 1 - камера для хлорида РЗЭ, 2 - хлорид РЗЭ, 3 - опорная кварцевая трубка, 4 - светоотражающая оболочка, 5 - пористый слой сердцевины, 6 - горелка для осаждения слоев, 7 - горелка для нагрева РЗЭ

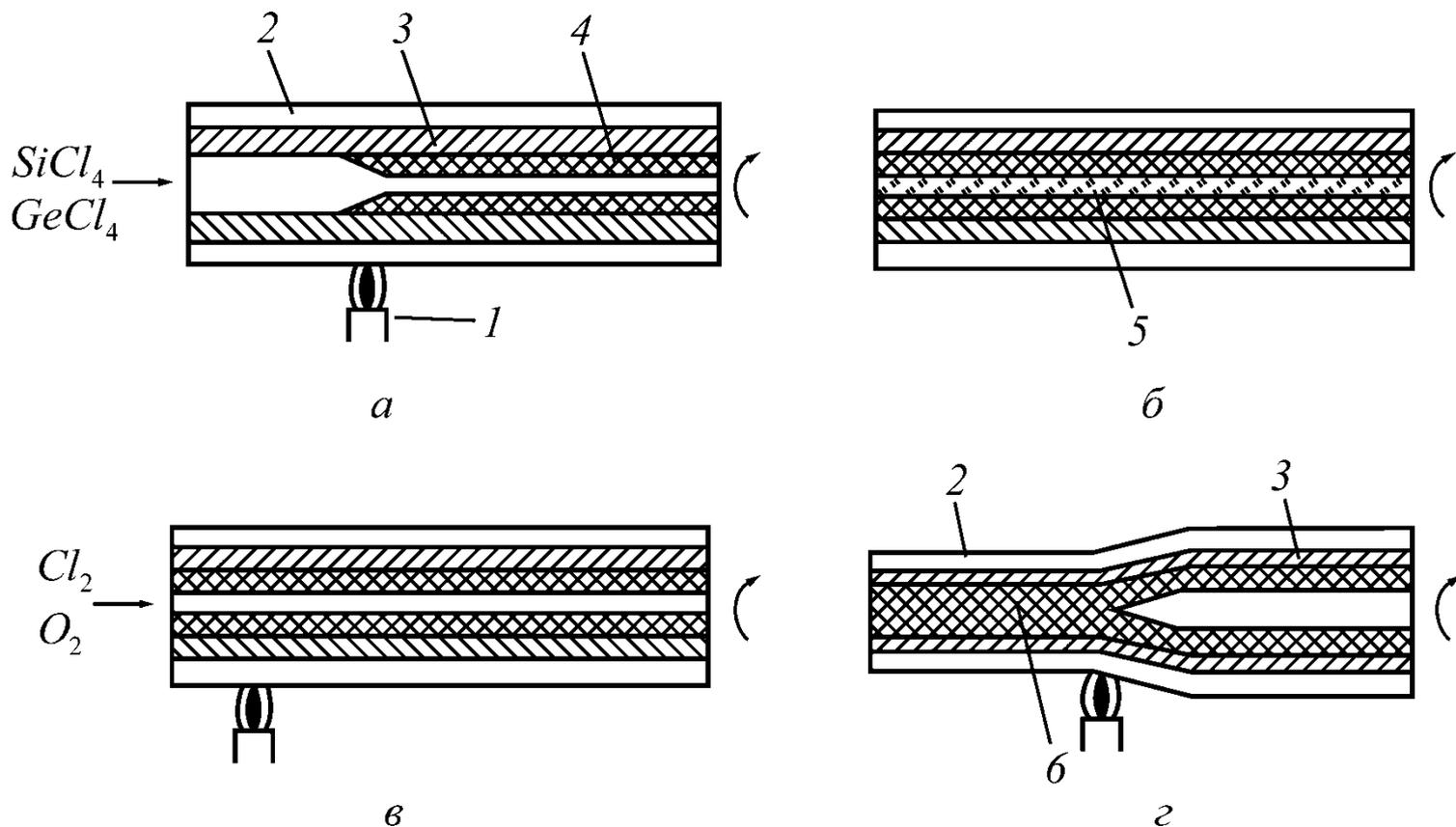


Рис. 6.14. Схема процесса получения заготовки MCVD-методом с использованием растворов солей РЗЭ: а) нанесение материала сердцевины, б) пропитка заготовки раствором РЗЭ, в) сушка заготовки, г) «схлопывание». 1 – горелка, 2 – опорная трубка, 3 – светоотражающая оболочка, 4 – пористая сердцевина, 5 – раствор РЗЭ, 6 – остеклованная сердцевина, легированная РЗЭ

$$m_{\text{РЗЭ}} \approx 2\pi R \times H \times K \times C_{\text{РЗЭ}} \times M_{\text{РЗЭ}} \times 10^{-3}$$

R – внутренний радиус опорной трубки, мм;

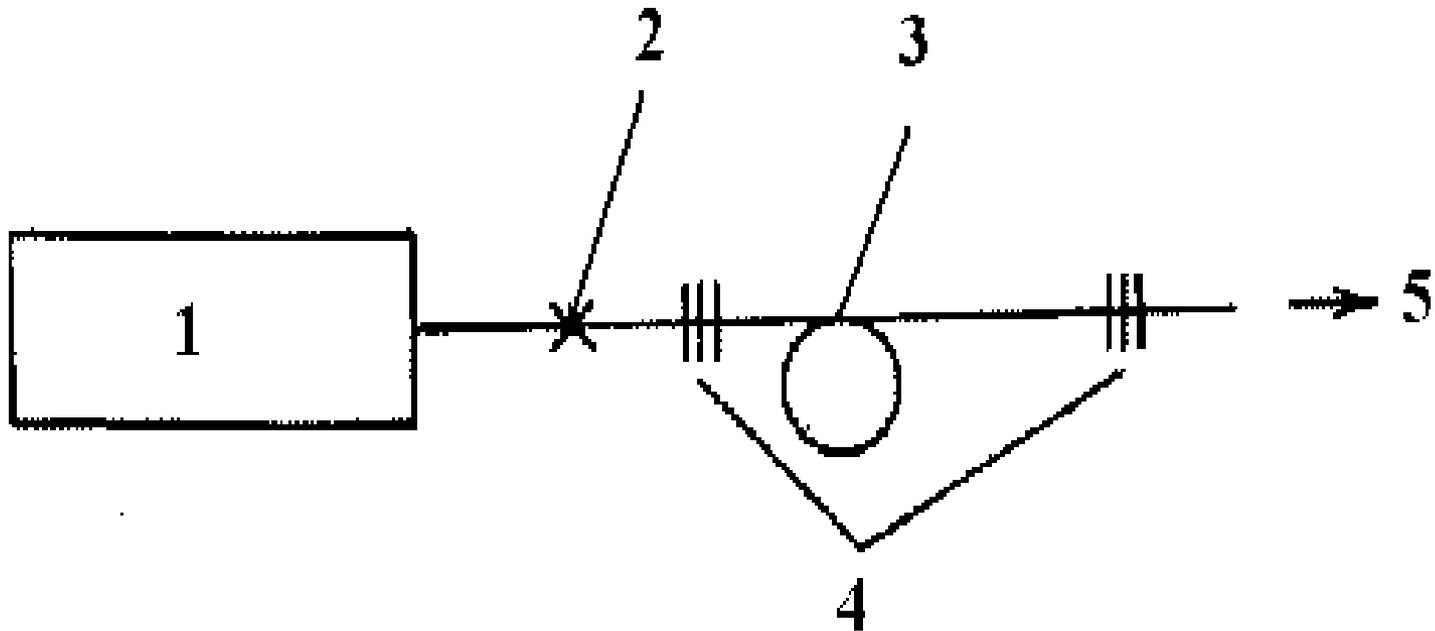
H – толщина пористого слоя, мм;

K – коэффициент пористости, %;

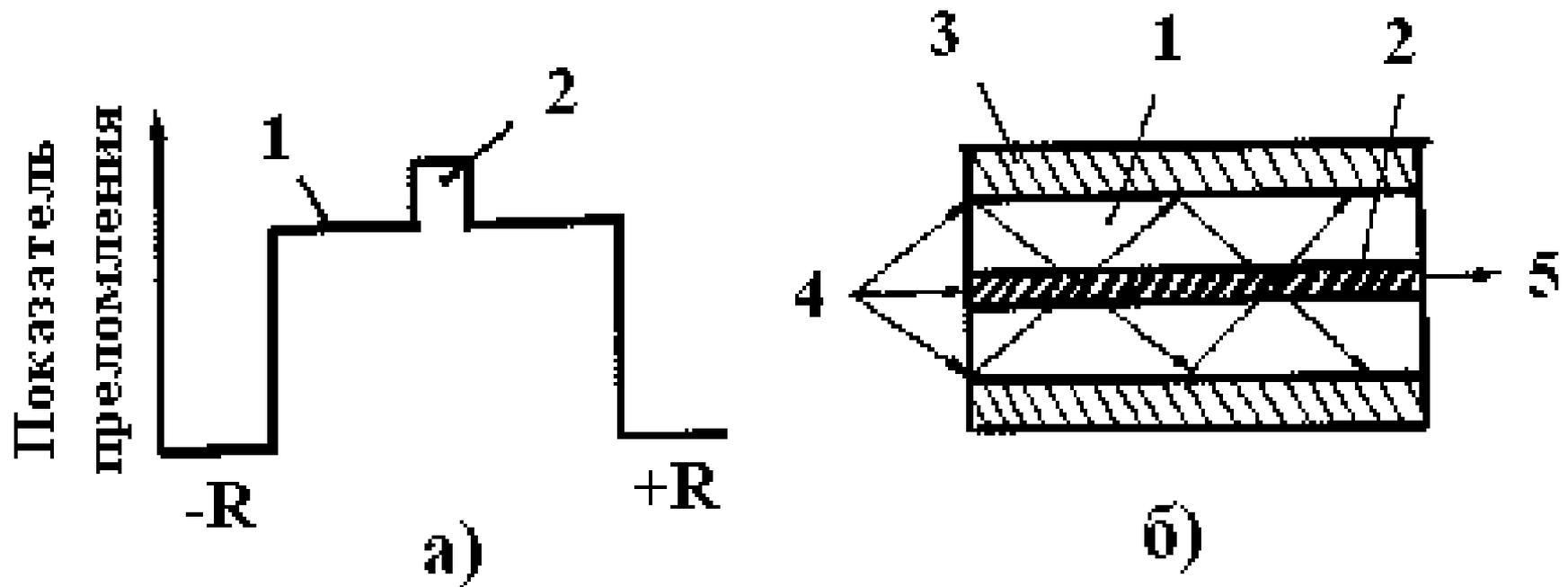
$C_{\text{РЗЭ}}$ – концентрация РЗЭ в растворе, г/см³;

$M_{\text{РЗЭ}}$ – атомный вес РЗЭ.

Волоконно-оптические лазеры.



Простейшая конфигурация волоконно-оптического лазера: 1 – полупроводниковый излучатель, 2 – точка сварки, 3, - активное волокно, 4 – брэгговские решетки, 5 – выход излучения



Модельный профиль ПП (а) и принцип преобразования многомодового излучения накачки в одномодовое излучение волоконного лазера в АкОВ с двойной оболочкой: 1- внутренняя оболочка, 2 – активная сердцевина, 3 – внешняя оболочка, 4 – многомодовая накачка, 5 – одномодовая генерация.

Влияние геометрии внутренней оболочки на эффективность поглощения излучения накачки в АкОВ, легированном ионами Yb.

Геометрия оболочки	Поглощение на $\lambda=978$ нм, дБ/км
Круглая	0,3±0,05
D-образная	2,2±0,05
Прямоугольная	3,5±0,05
Квадратная	3,3±0,05

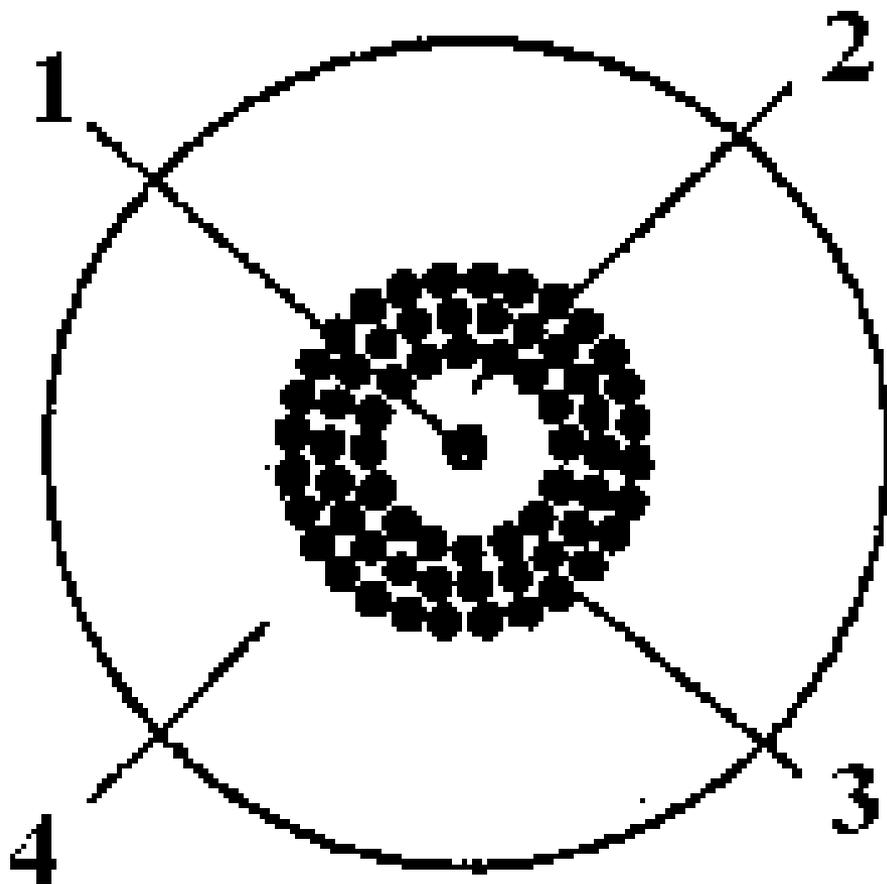


Схема АкОВ с микроструктурированной оболочкой; черные кружки – капилляры, заполненные воздухом: 1 - активированная сердцевина, 2 – внутренняя оболочка, 3 – микроструктурированная оболочка, 4 – технологическая кварцевая оболочка

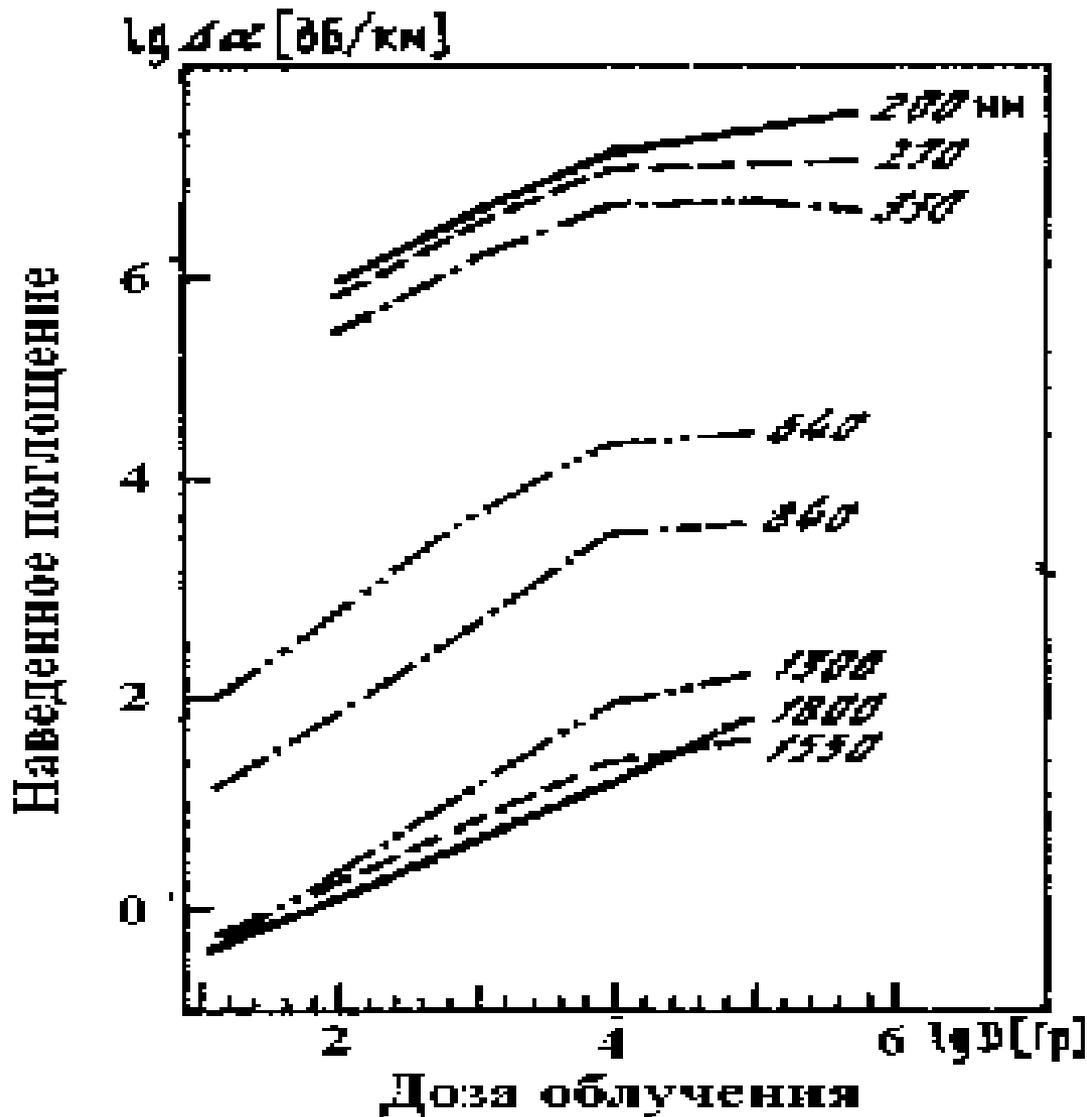
Радиационно - стойкие оптические волокна

Основные типы центров окраски в кварцевом стекле:

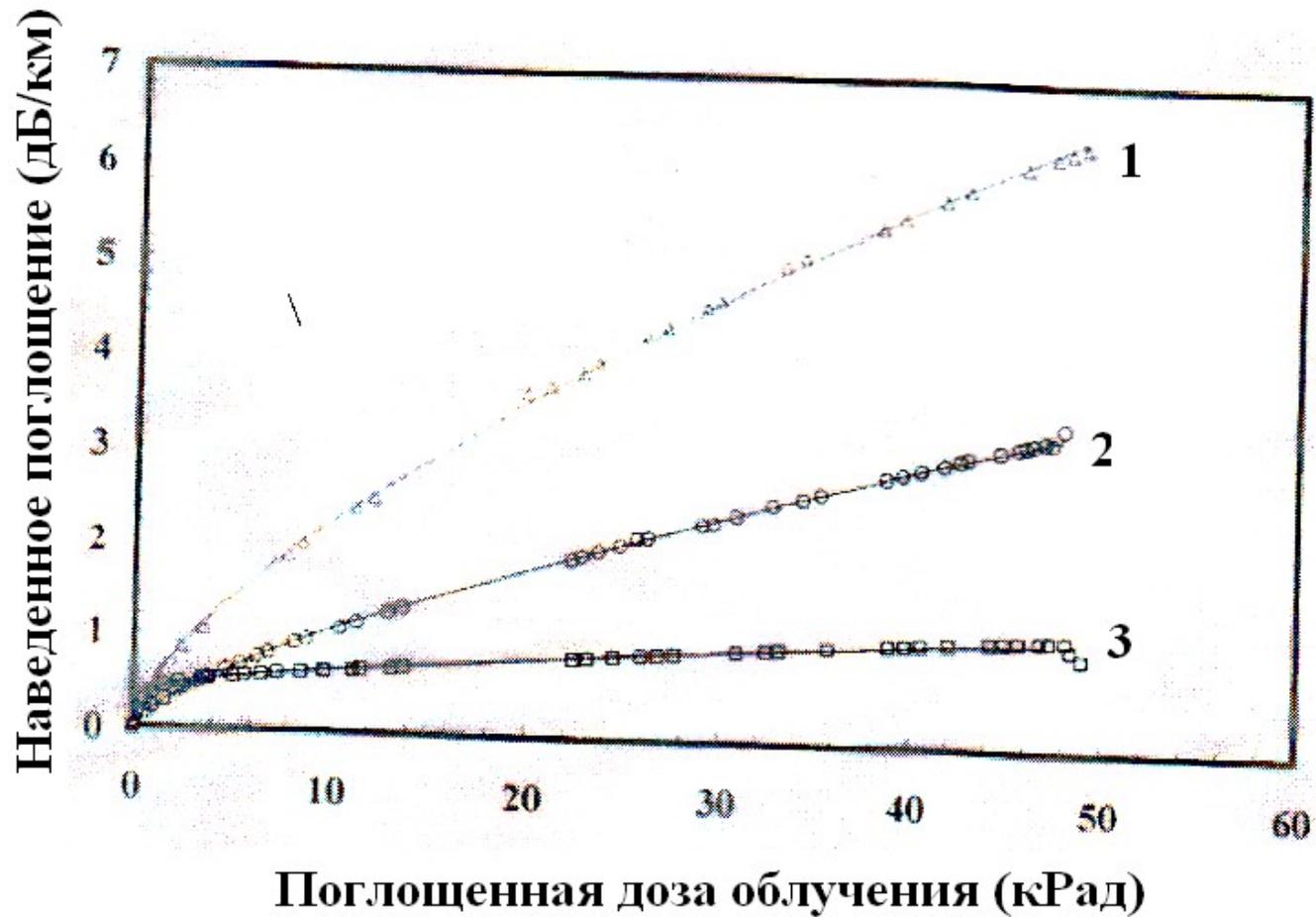
- так называемые E'-центры $\equiv \text{Si}^*$, возникающие при разрыве цепочки $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$, содержащие валентный электрон и имеющие полосы поглощения на длинах волн 0,212 и 0,45 мкм;
- пероксильные радикалы $\equiv \text{Si}-\text{O}-\text{O}$, появляющиеся в присутствии избытка кислорода в стекле и имеющие полосы поглощения на $\lambda = 0,163; 0,8$ и $1,5$ мкм;
- кислородная вакансия $\equiv \text{Si}-\text{Si} \equiv$, возникающая при отрыве кислорода в цепочке $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ ($\lambda = 0,248$ и $0,28$ мкм);
- радиационный дефект немостикового кислорода $\equiv \text{Si}-\text{O}$, образующийся вместе с E'-центром при разрушении цепочки $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ ($\lambda = 0,26; 0,63$ и $0,67$ мкм);
- связи между атомами хлора $\equiv \text{Si}-\text{Cl} \dots \text{Cl}-\text{Si} \equiv$, возникающие в кварцевом стекле при получении его из SiCl_4 ($\lambda = 0,257; 0,31$ и $0,390$ мкм);
- молекулы хлора ($\text{Cl}-\text{Cl}$), растворенного в кварцевом стекле ($\lambda = 0,33$ мкм).

Факторы, уменьшающие радиационную стойкость ОВ

1. Переход в более короткую область спектра.
2. Увеличение дозы и мощности облучения.
3. Наличие легирующих примесей типа германия, бора, фосфора .
4. Присутствие РЗЭ и модификаторов (типа алюминий).
5. Снижение температуры работы ОВ.
6. Использование акрилатных покрытий.



Дозные зависимости наведенного поглощения в образцах оптических волокон с концентрацией $\text{GeO}_2 \sim 11$ мол.% на различных длинах волн при γ -облучении (мощность дозы – 2,7 Гр/с)



Зависимости НП от поглощенной дозы облучения для волокон: 1 – SMF28, 2– R1310-НТА,3-S1550-НТА.

Для 1,2 – $A=\alpha D^{\beta}$, где D – доза облучения («степенной закон»), для 3 – $A=\sum\alpha_i [1-\exp(-D/\tau)]$ – экспоненциальный закон с «насыщением»

Микроструктурированные ОВ

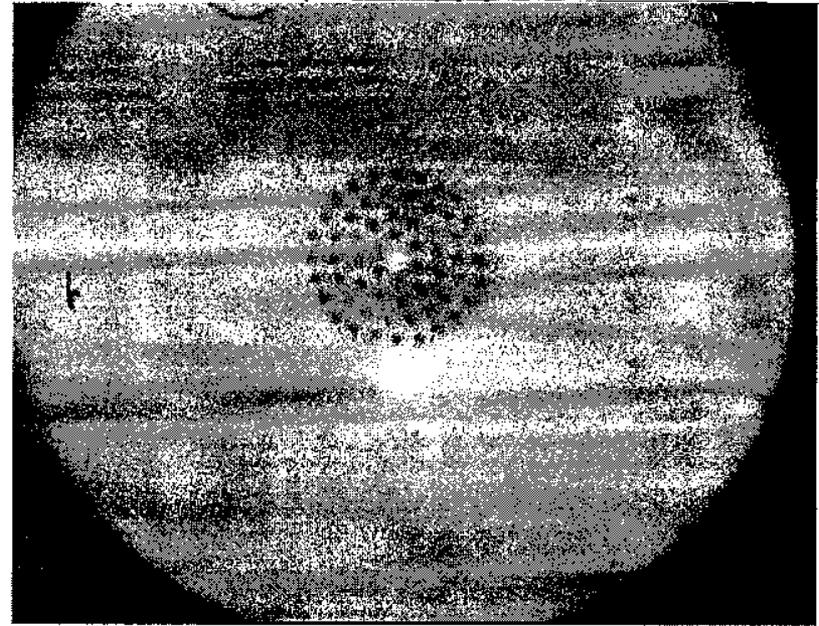
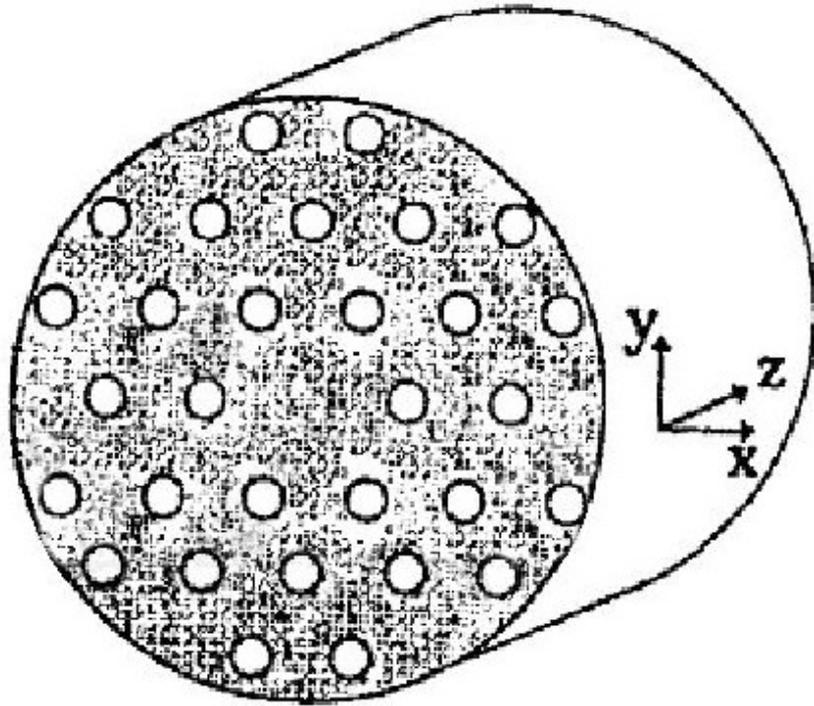
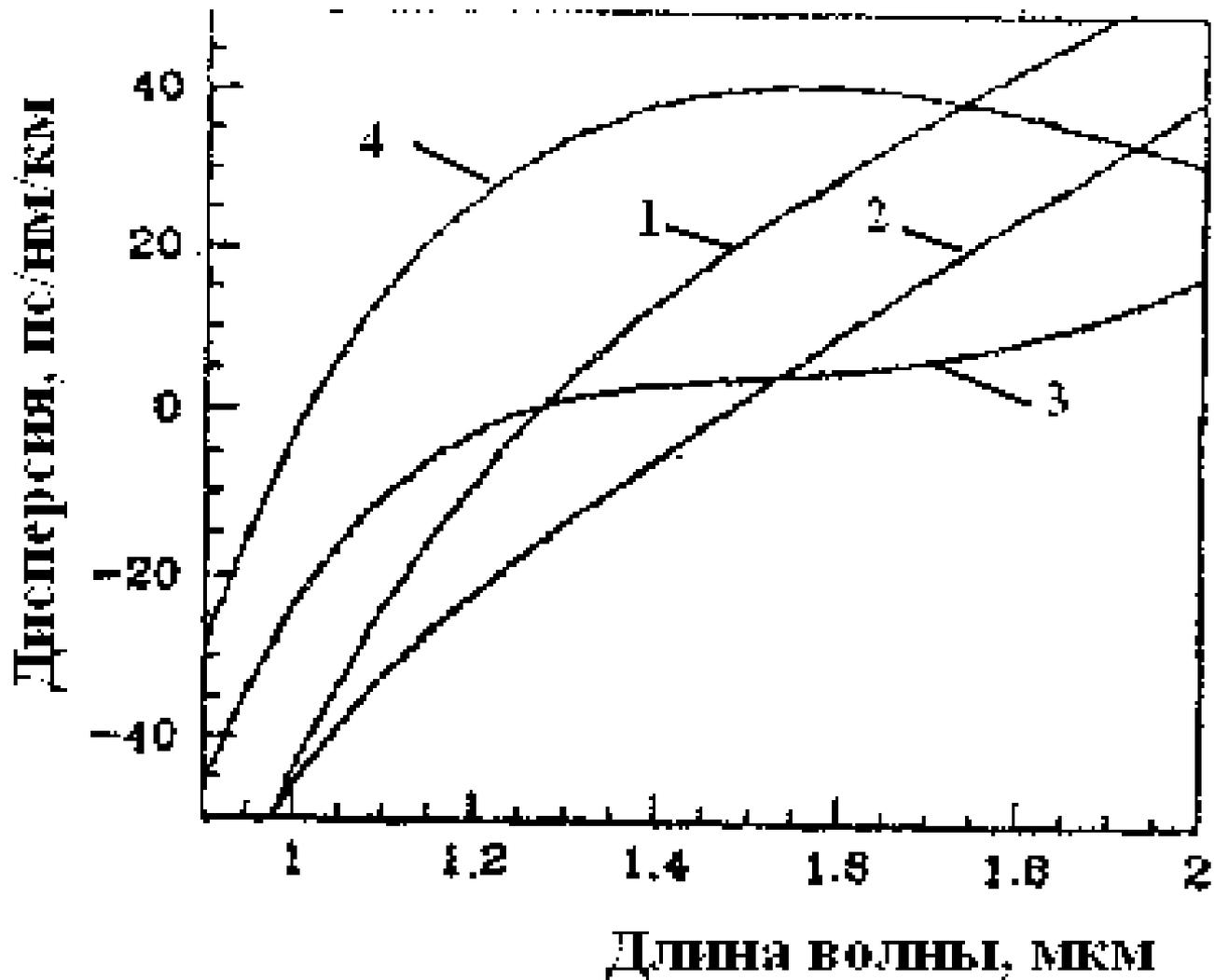
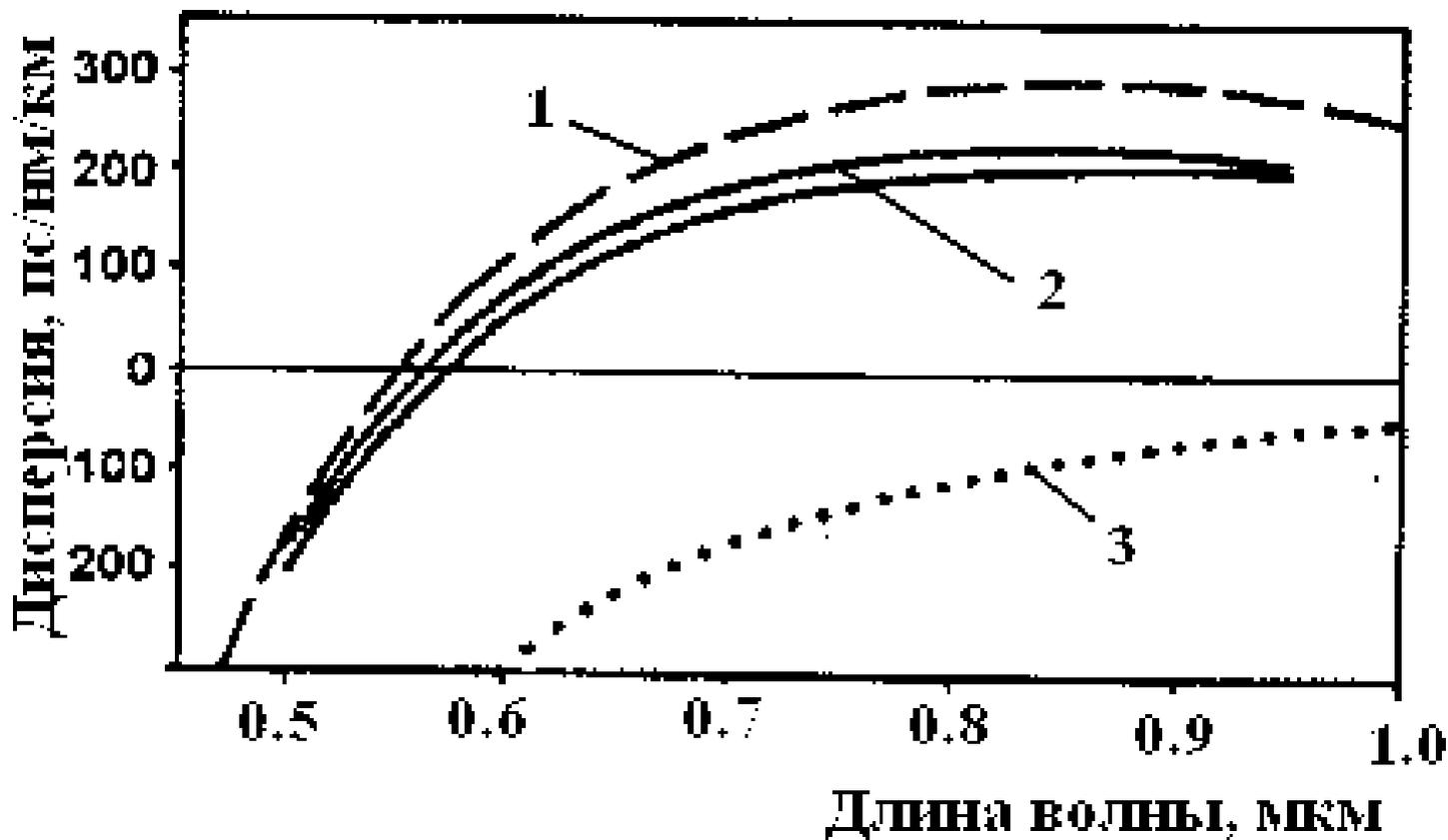


Схема (а) и фотография (б) микроструктурированного оптического волокна.



Теоретические зависимости дисперсии «дырчатого» МкОВ от длины волны, рассчитанные для d/L : 1 - 0.1, 2 - 0.2, 3 - 0.3, 4 - 0.45 и $L=2.3$ мкм



Рассчитанные и экспериментальные зависимости дисперсии от длины волны. Параметры «дырчатого» МкОВ: диаметр сердцевины 1.5 мкм, диаметр отверстий капилляров - $d=0.62$ мкм