

УМК

Специальные волоконные световоды

**Тема 9. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С МАЛЫМИ
ПОТЕРЯМИ**

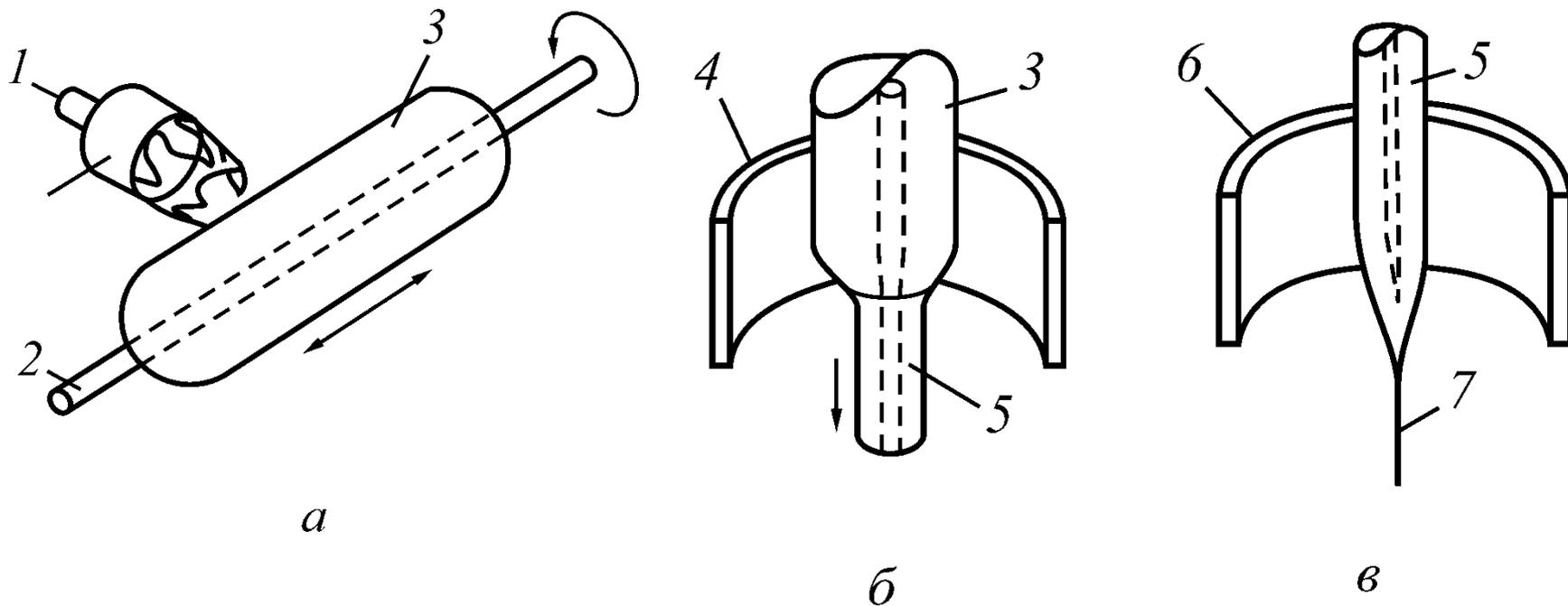
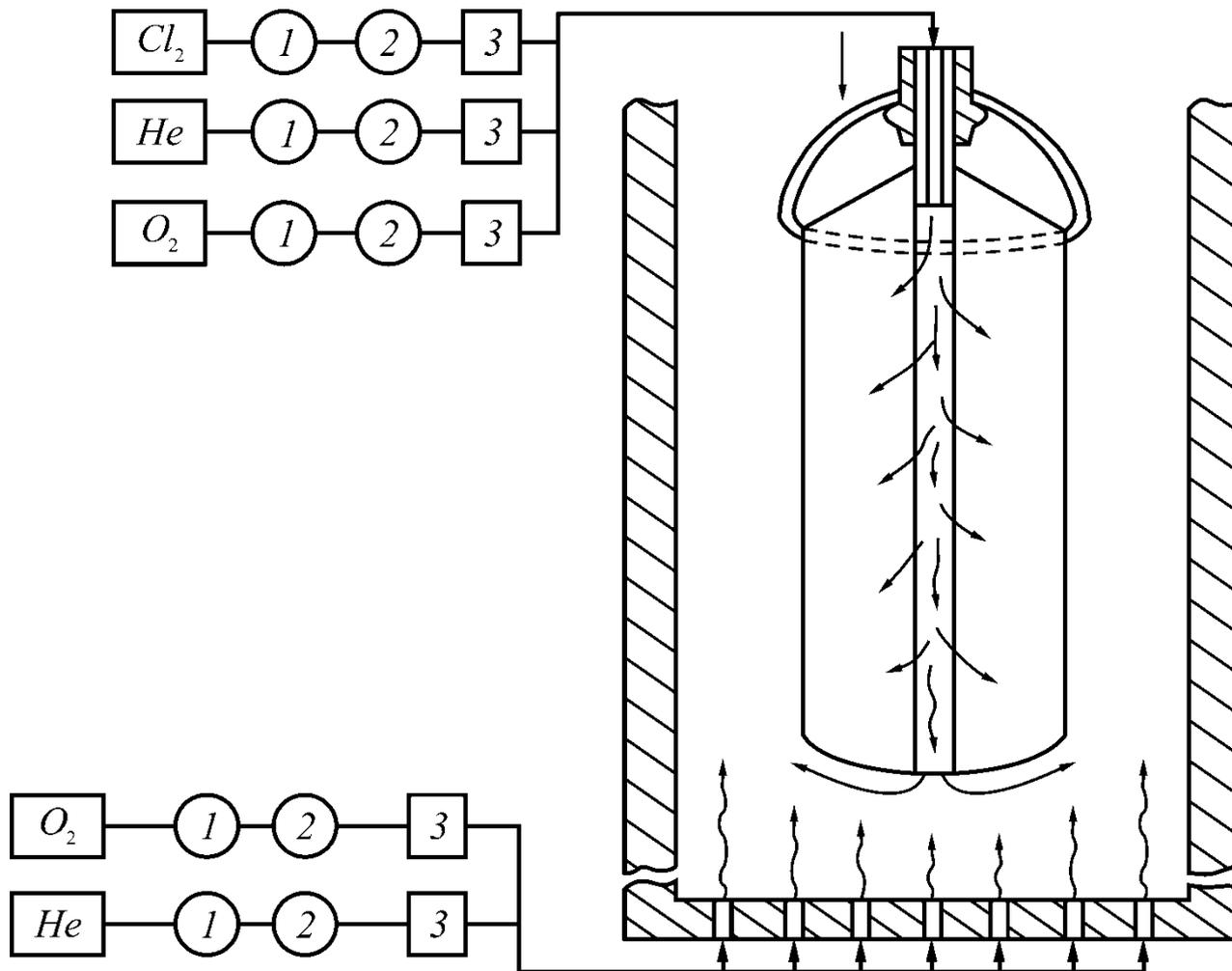
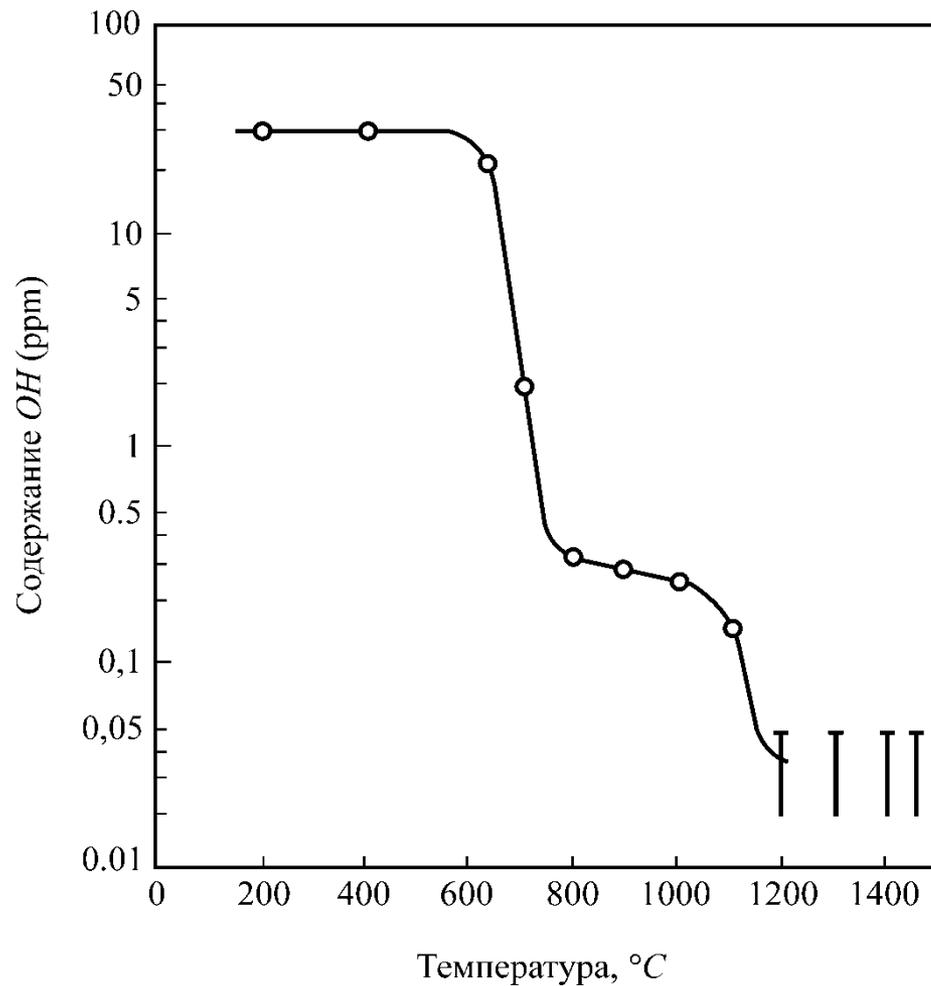


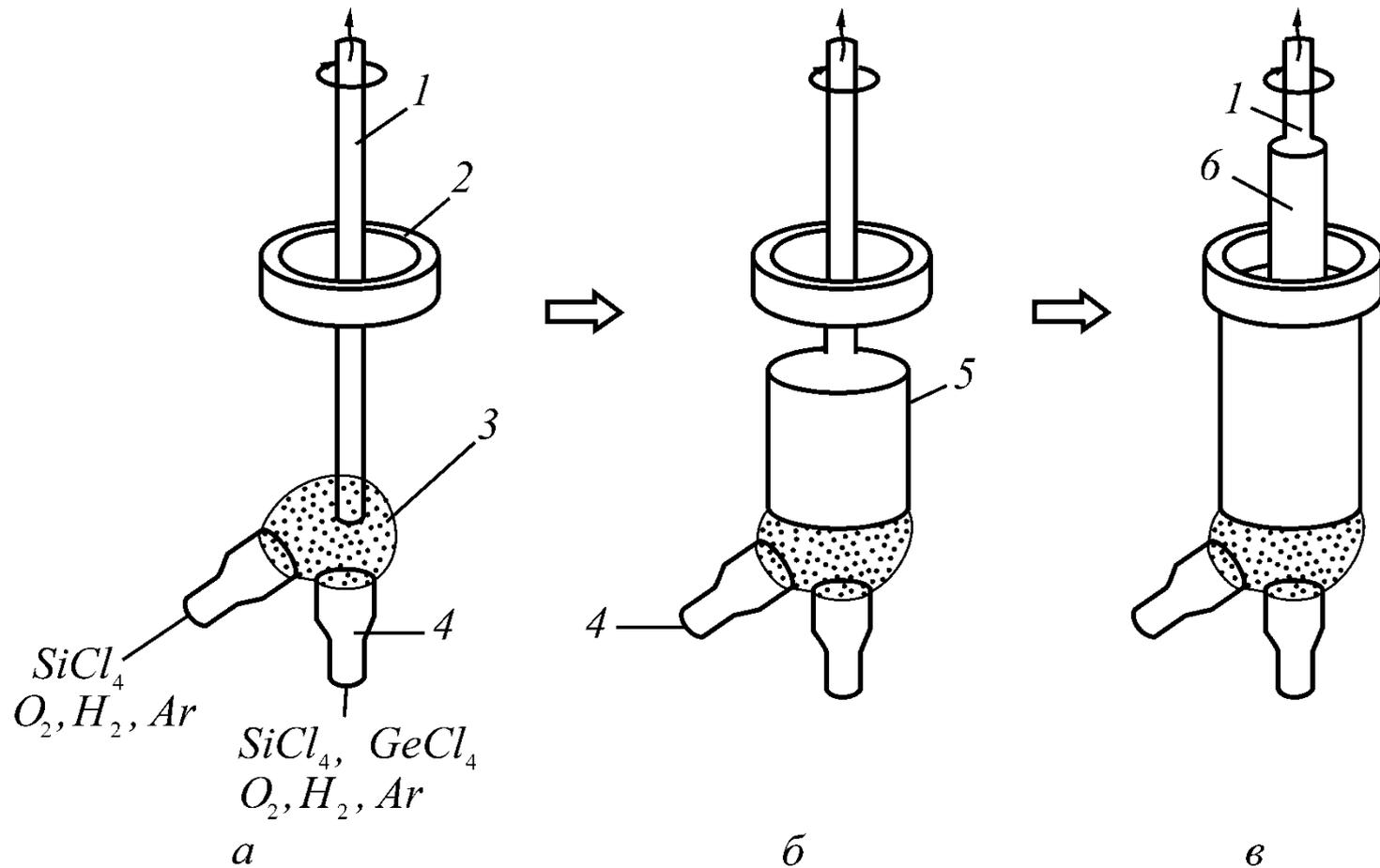
Схема процесса *OVD*: *а* – образование и осаждение оксидов, *б* – остекловывание пористой заготовки, *в* – вытяжка волокна: 1 – кислородно-водородная горелка; 2 – затравочный штабик; 3 – пористая заготовка; 4 – печь остекловывания; 5 – остеклованная заготовка; 6 – высокотемпературная печь; 7 – волокно



Сушка в процессе *OVD* через центральное отверстие: 1 –
 вентиль; 2 – редуктор; 3 – регулятор расхода газа



Соотношение между температурой дегидратации и остаточным содержанием ионов OH в кварцевом стекле



. Схема процесса VAD: 1 – затравочный штабик; 2 – графитовая печь; 3 – мелкие частицы $SiO_2 \cdot GeO_2$; 4 – горелки; 5 – пористая заготовка; 6 – остеклованная заготовка

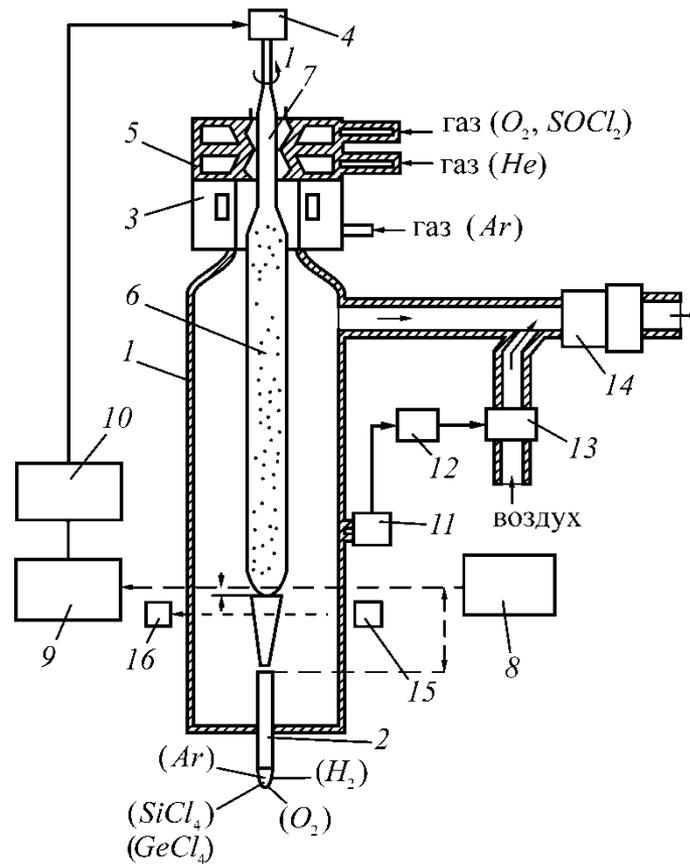


Схема установки VAD метода: 1 – реактор напыления; 2 – горелка; 3 – печь остекловывания; 4 – механизмы подъема и вращения; 5 – камера газовой защиты нагревателя печи; 6 – пористая заготовка; 7 – прозрачная заготовка; 8 – блок лазерного сканирования; 9 – блок приема лазерного излучения; 10 – блок регулирования диаметра; 11 – датчик давления; 12 – блок управления; 13 – регулятор расхода газа; 14 – накопительная емкость; 15 – сканер; 16 –

пироприемник



Re=10



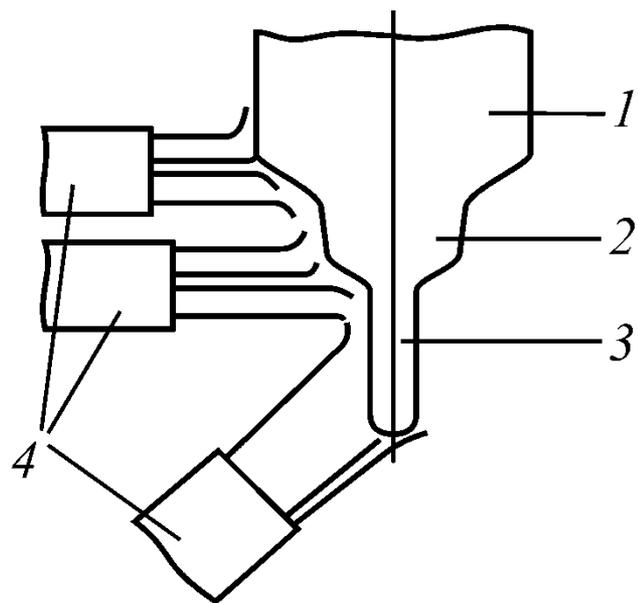
Re=30



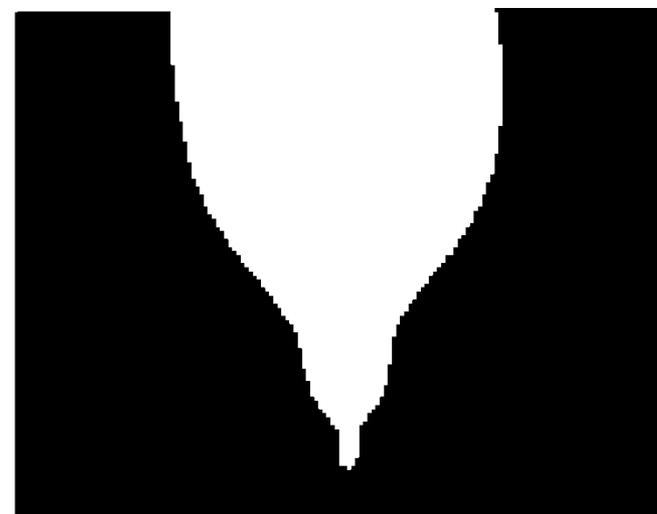
Re=100

Фотографии газового потока в процессе осаждения оксидов
на торец пористой заготовки

$$Re = (W \times d \times \rho) / \eta$$



a



б

Схема получения (*a*) и фотография (*б*) заготовки одномодового ОВ: 1, 2 – слой пористой оболочки; 3 – слой пористой сердцевины; 4 – горелки для нанесения соответствующих структур

Скорость подъема заготовки выражается как

,

$$V = a(1 + b)V_0$$
 где V_0 – скорость роста пористой заготовки, м/с;

a – степень сжатия заготовки в осевом направлении

b – степень вытягивания заготовки под действием ее веса, при этом величина (a) равна

,

$$a = \sqrt{\rho / \rho_0}$$

где ρ_0 – объемная плотность пористой заготовки

и ρ – плотность остеклованной заготовки, а величина b равна

,

$$b = \left(\frac{w}{\eta \cdot A} \right) \cdot t$$

где w – вес пористой заготовки, кг;

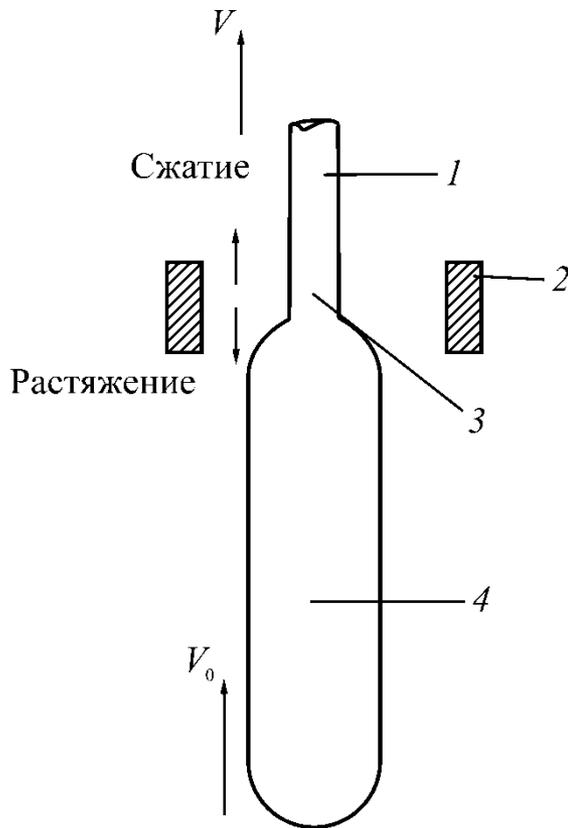
η – вязкость стекла при температуре остекловывания

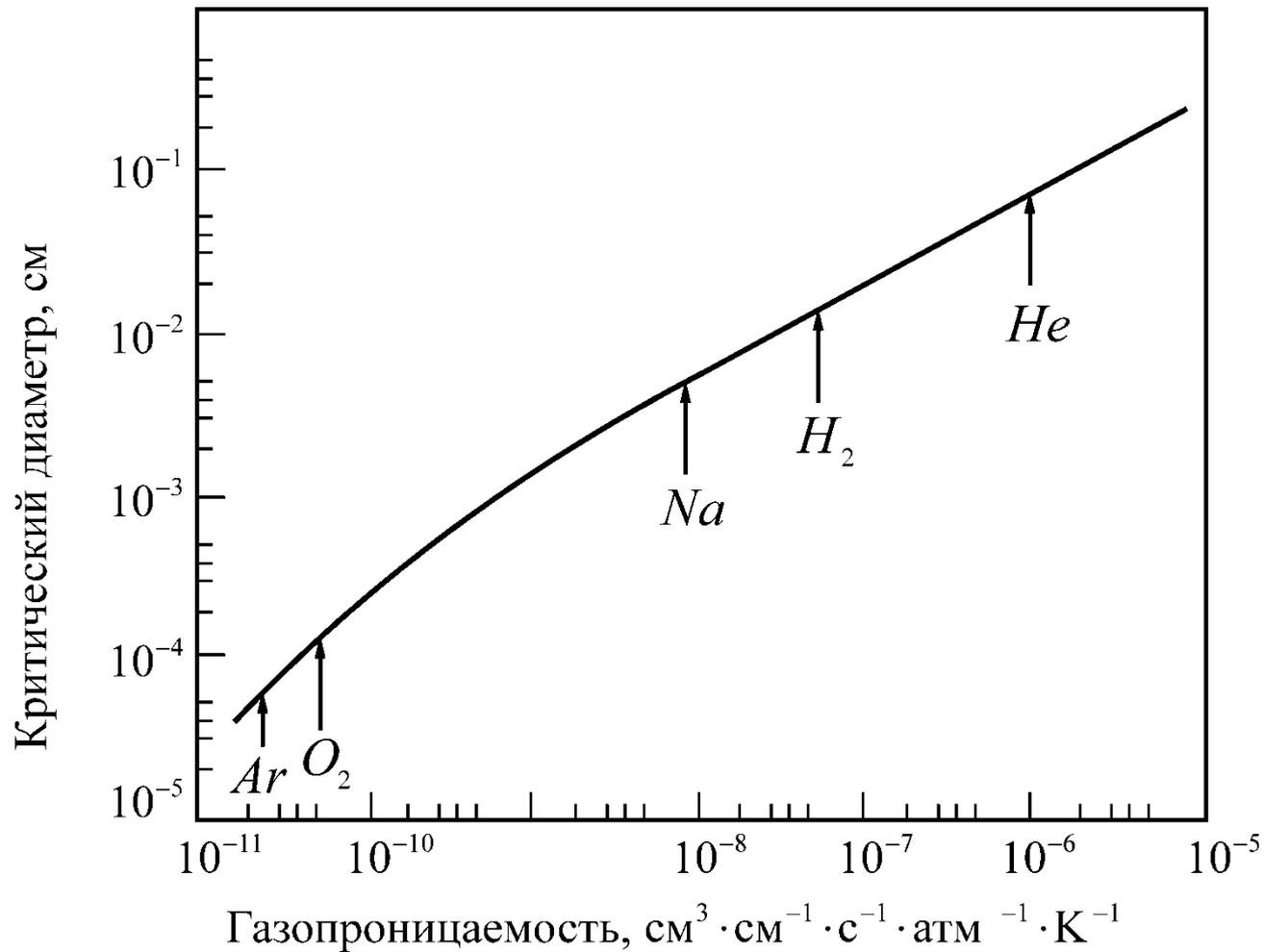
кгс·с·м⁻²; A – площадь поперечного сечения

остеклованной заготовки, м²;

t – время прохождения заготовки через горячую зону

печи остекловывания, с.





Зависимость критического диаметра закрытой сферической поры от газопроницаемости различных газов

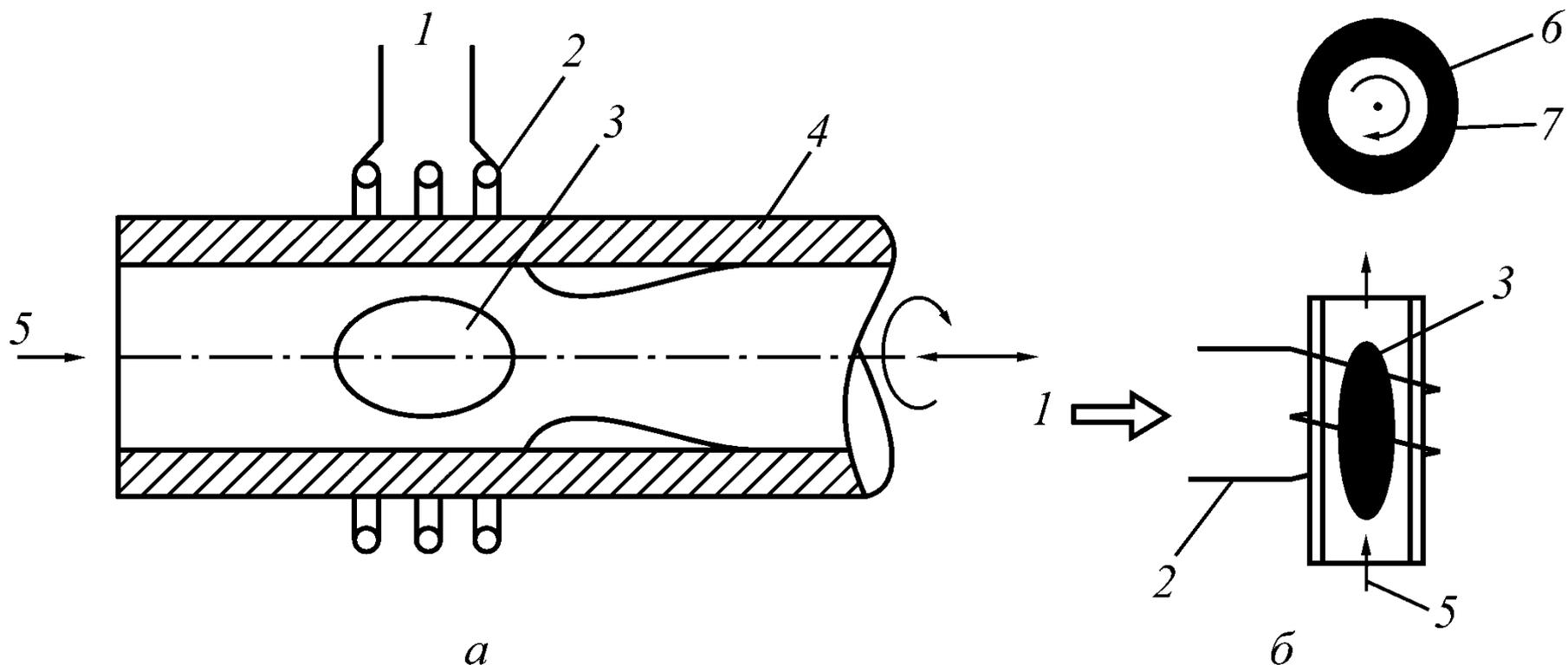
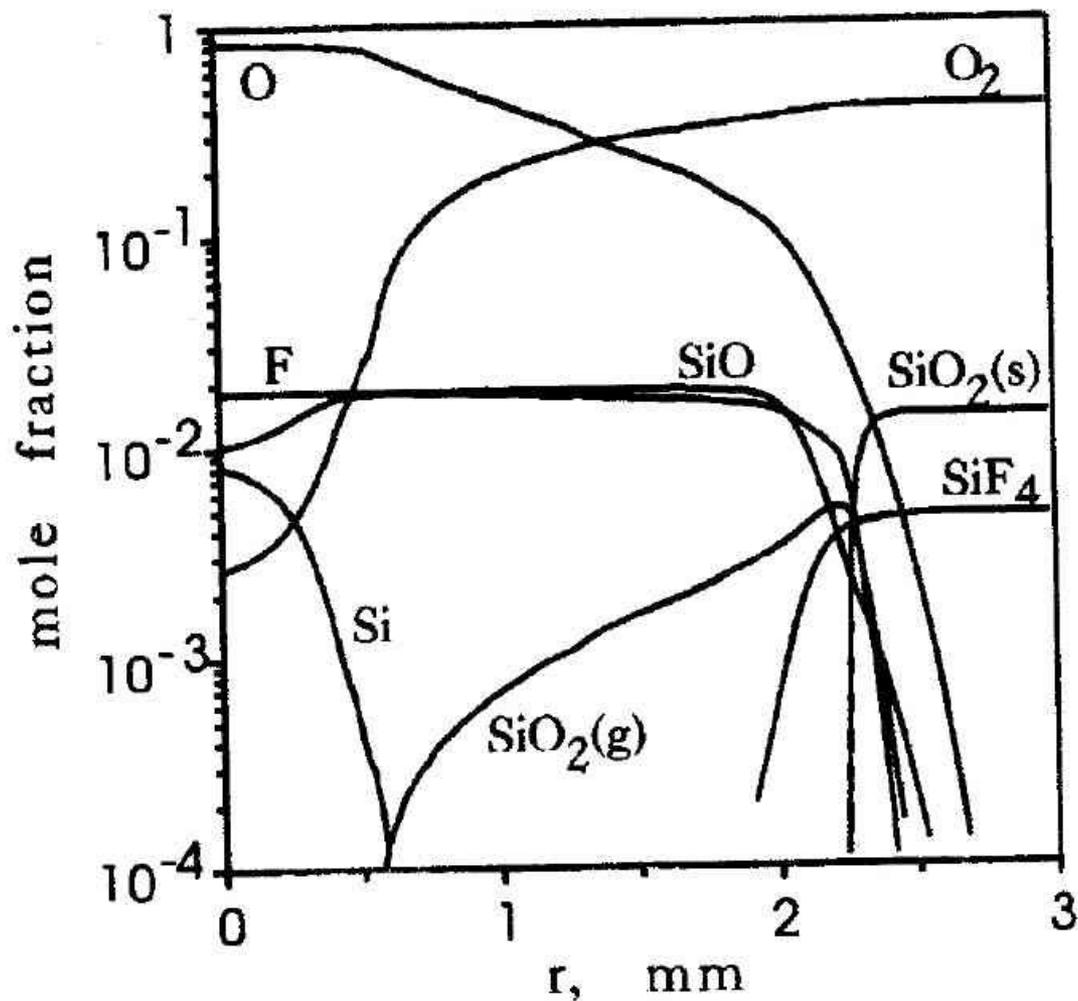
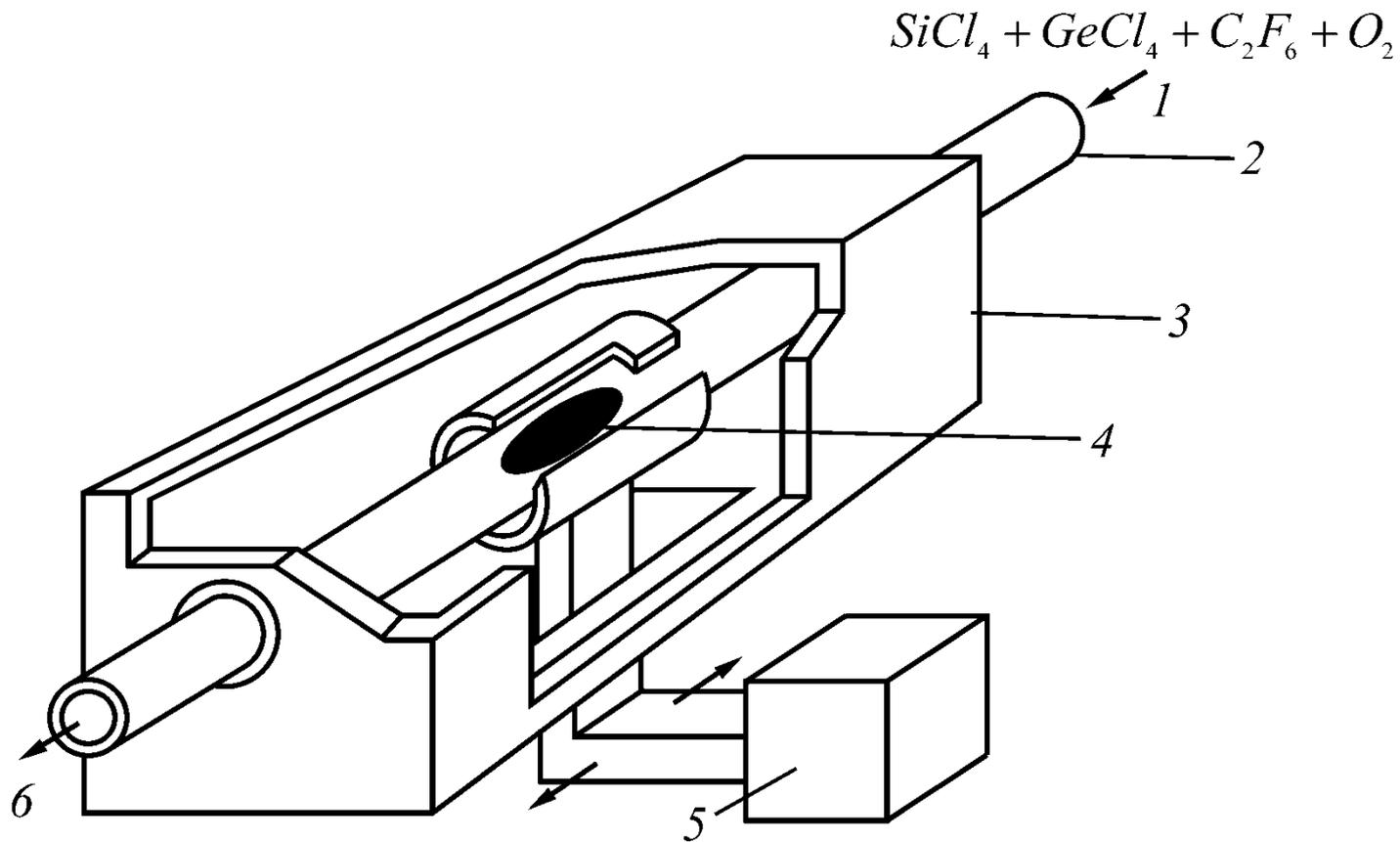


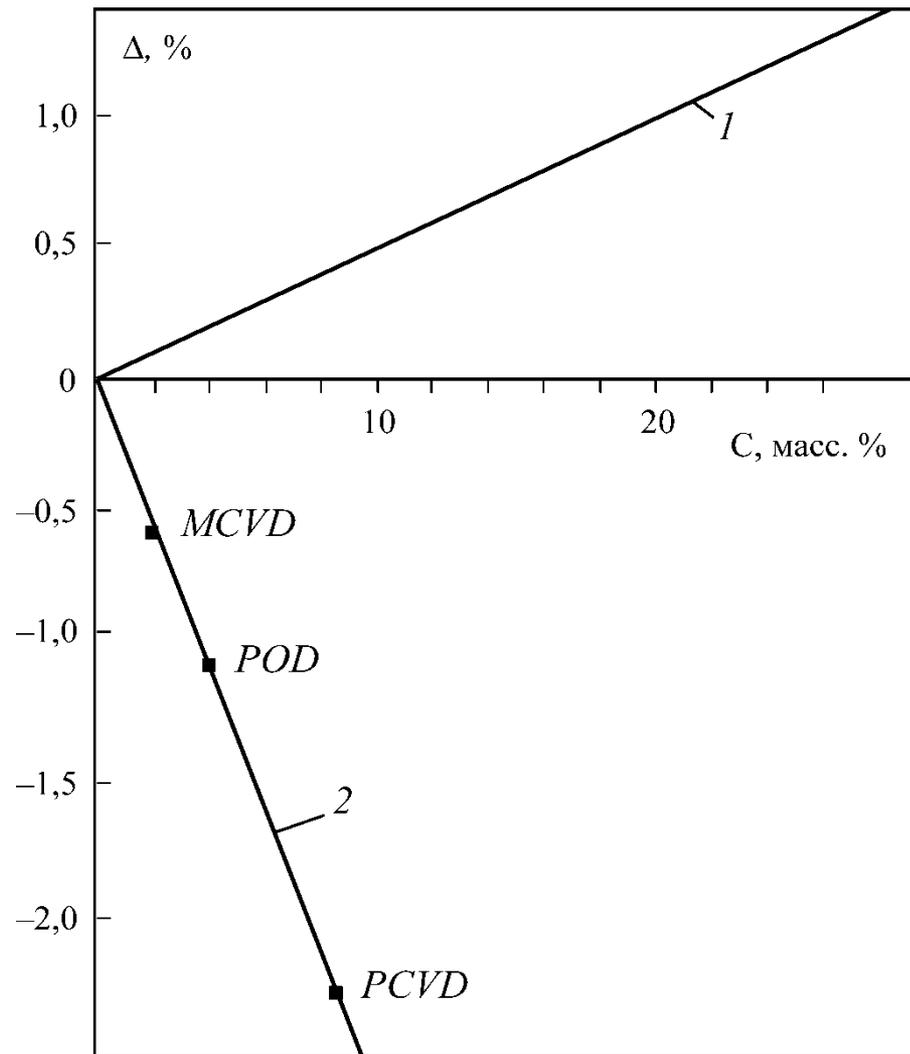
Схема процессов получения заготовок кварцевых ОВ методами *PMCVD* (а) и *POD* (б): 1 – подача ВЧ-мощности; 2 – индуктор; 3 – плазма; 4 – опорная кварцевая трубка; 5 – подача реагентов ($\text{SiCl}_4 + \text{O}_2 + \text{фреоны}$); 6 – кварцевый штабик; 7 – фторсиликатная оболочка



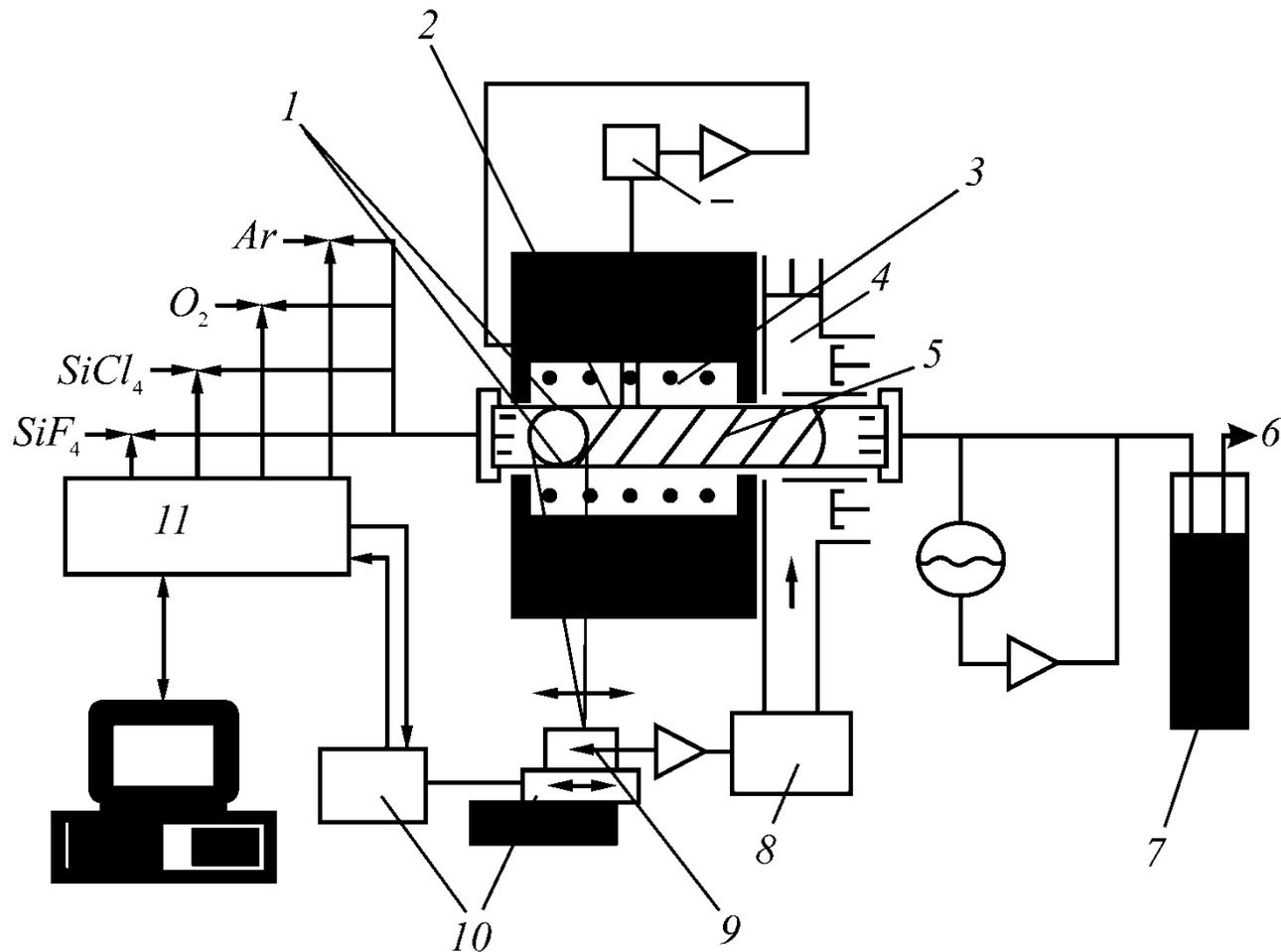
Распределение химических компонентов на выходе из плазменной горелки



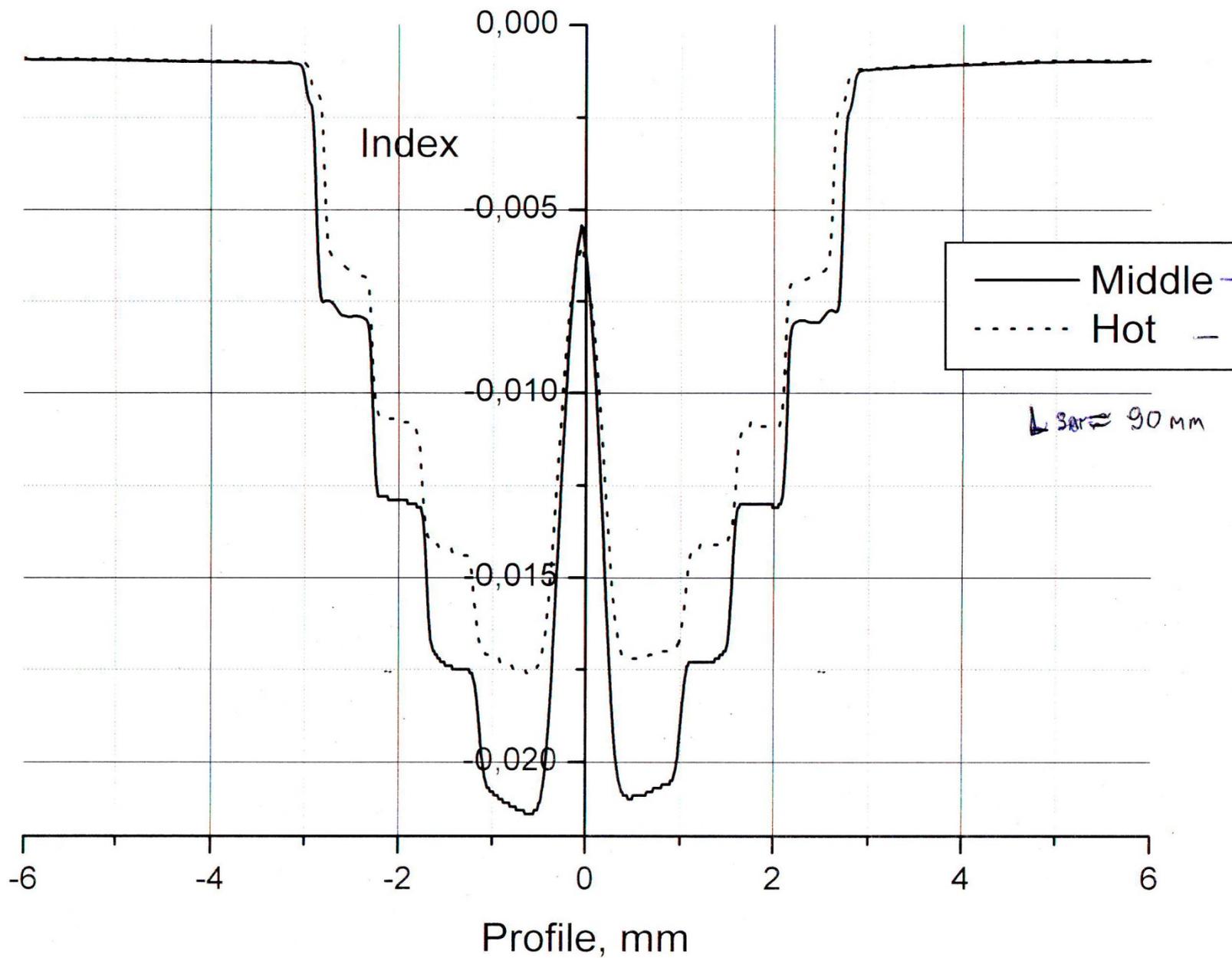
Парофазное осаждение, активированное СВЧ плазмой: 1 – ввод ПГС; 2 – опорная трубка; 3 – печь; 4 – плазма; 5 – магнетрон; 6 – откачка ПГС
 Эффективность осаждения : $\text{SiO}_2 \sim 100\%$, $\text{GeO}_2 - 70 \div 90\%$, $\text{F} - 50 \div 100\%$

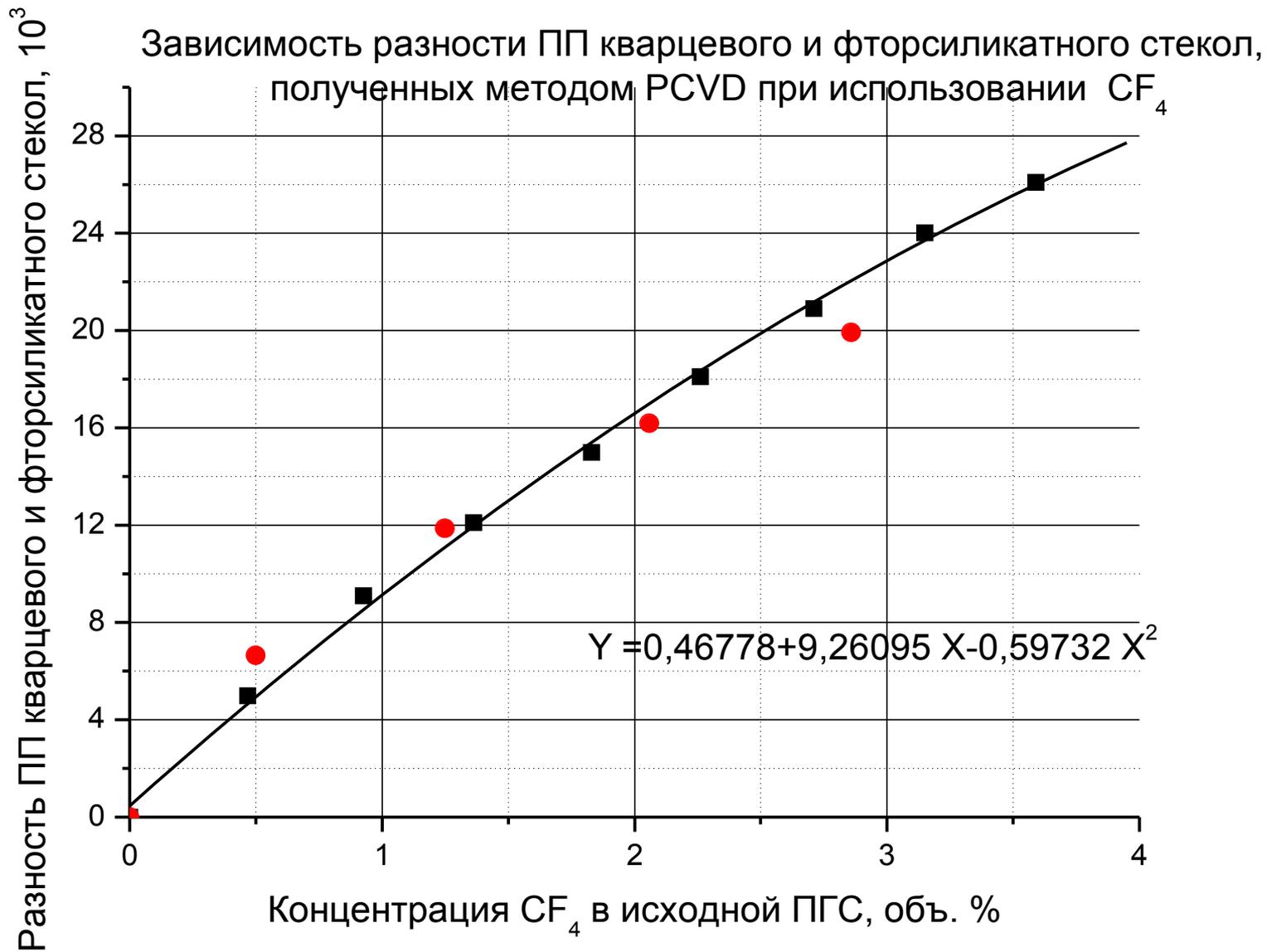


Зависимость относительной разности ПП легированного и чистого кварцевого стекла от концентрации легирующего компонента: 1 – германосиликатное стекло; 2 – фторосиликатное стекло

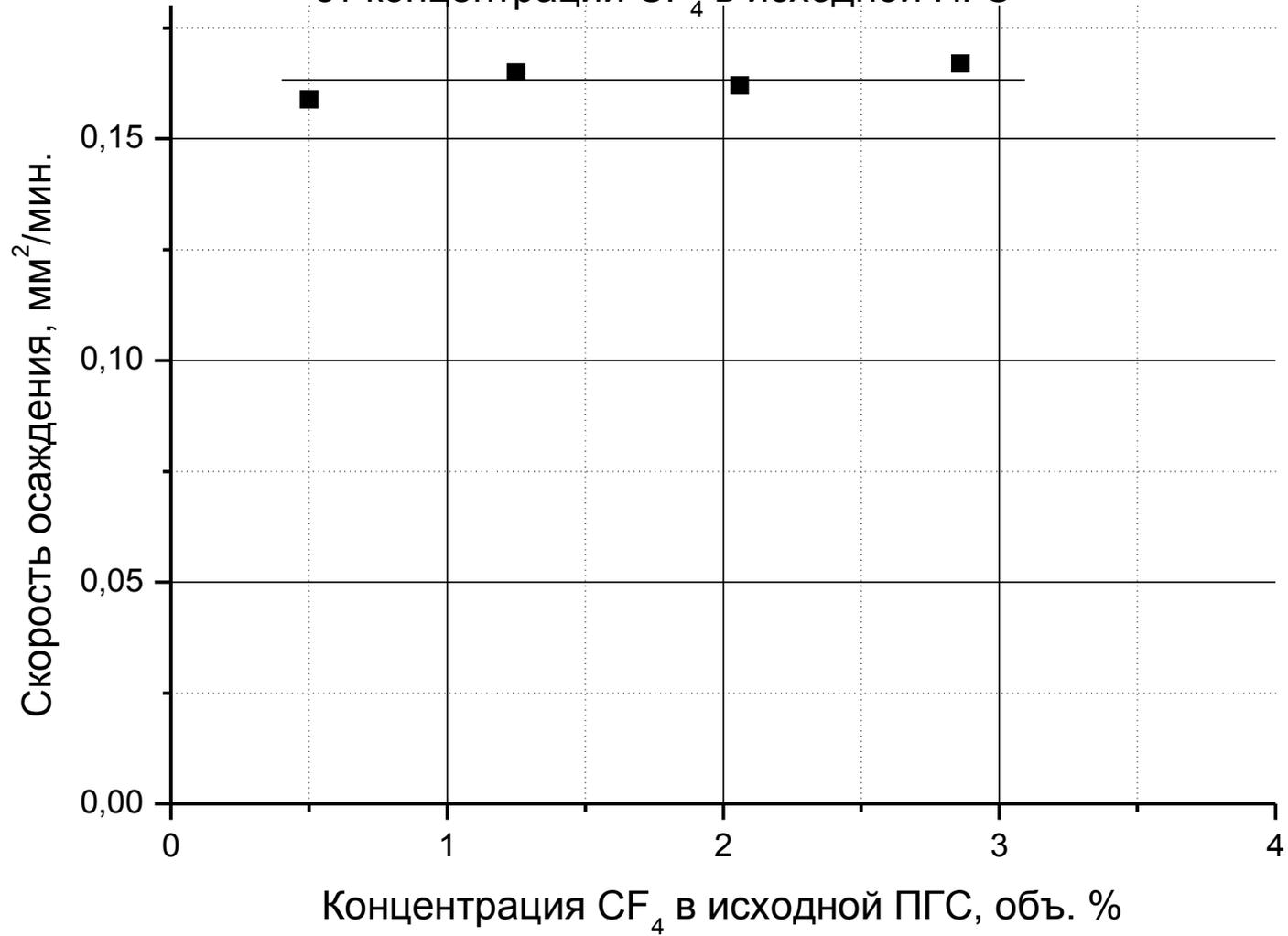


Структура технологической схемы осаждения по методу *SPCVD* (*Surface Plasma Chemical Vapor Deposition*) : 1 – зона осаждения; 2 – опорная трубка; 3 – печь; 4 – возбудитель разряда; 5 – плазменный столб; 6 – выход к насосу; 7 – азотная ловушка; 8 – магнетрон; 9 – фотодатчик; 10 – подвижка; 11 – интерфейс

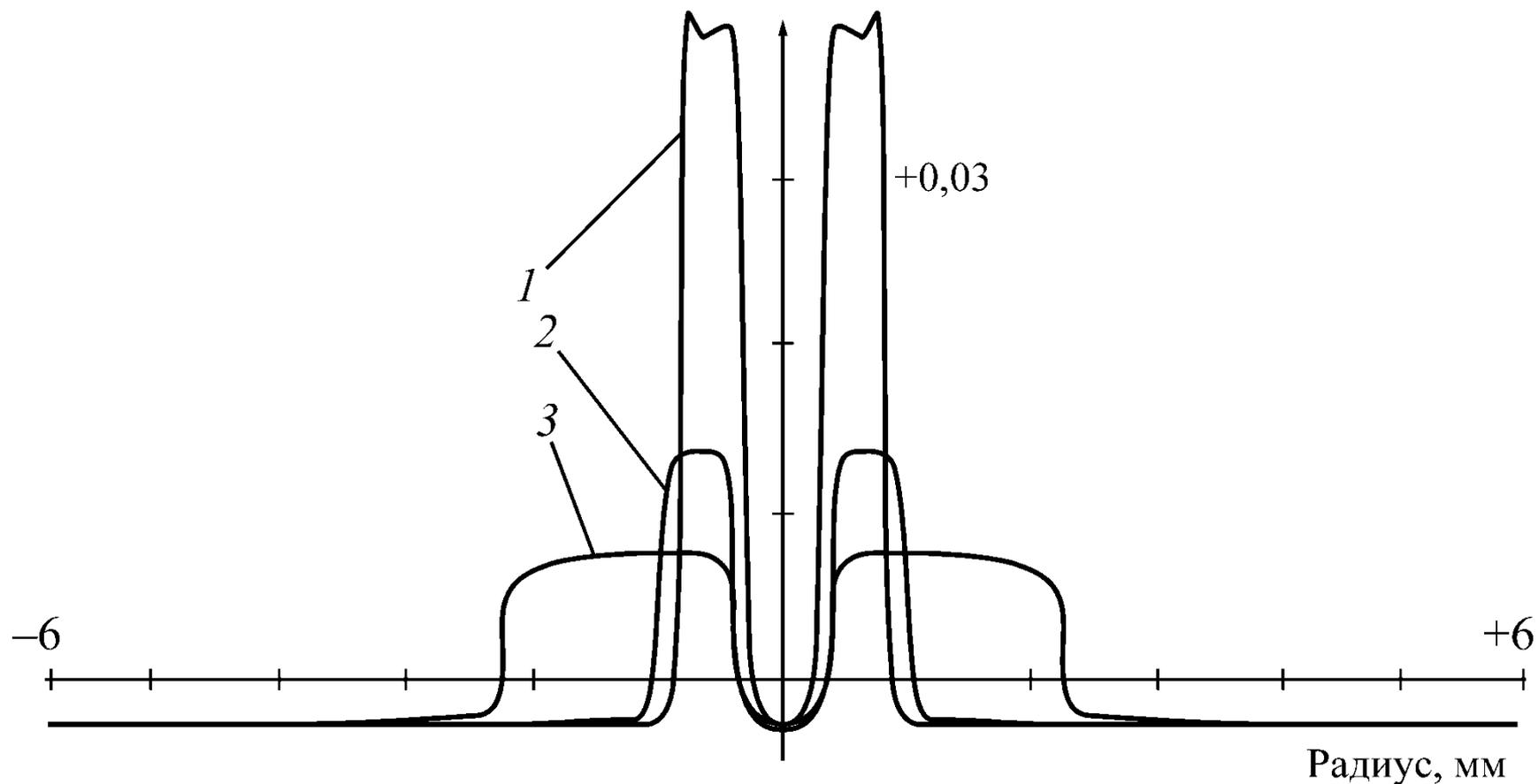




Зависимость скорости осаждения $\text{SiO}_2 \cdot \text{F}$ методом PCVD
от концентрации CF_4 в исходной ПГС



Разность показателей преломления, Δn



Профили ПП в заготовках световодов, сформированных методом *SPCVD* на основе кварцевого стекла, легированного азотом при:

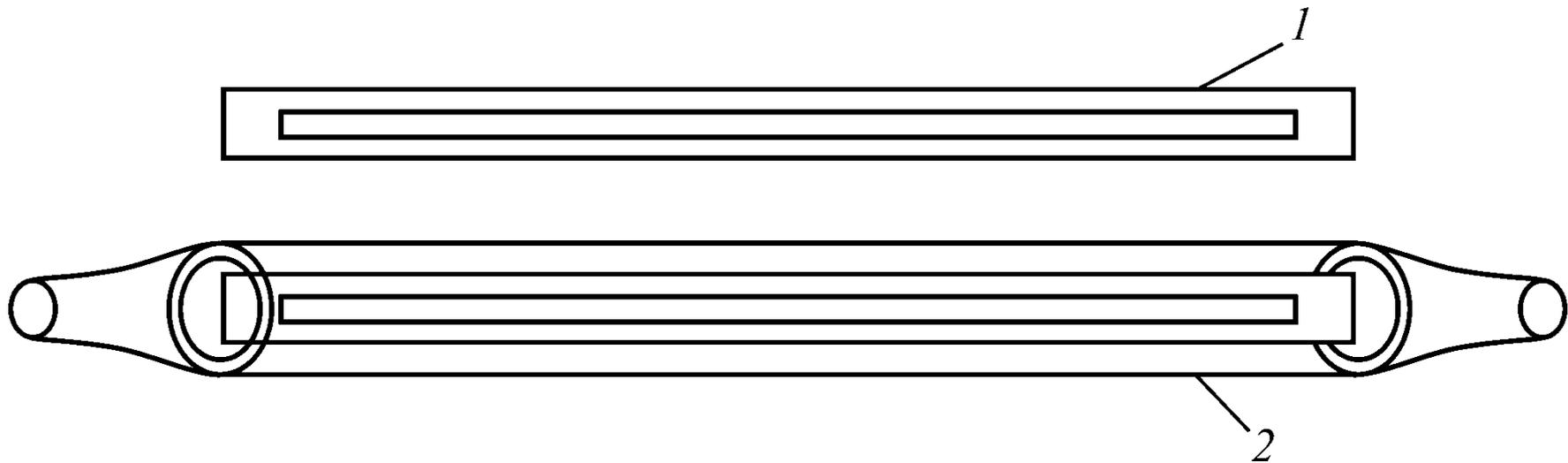
1 – $N_2/O_2 = 4,0$; 2 – $N_2/O_2 = 2,5$; 3 – $N_2/O_2 = 2,0$

Характеристики основных парофазных методов

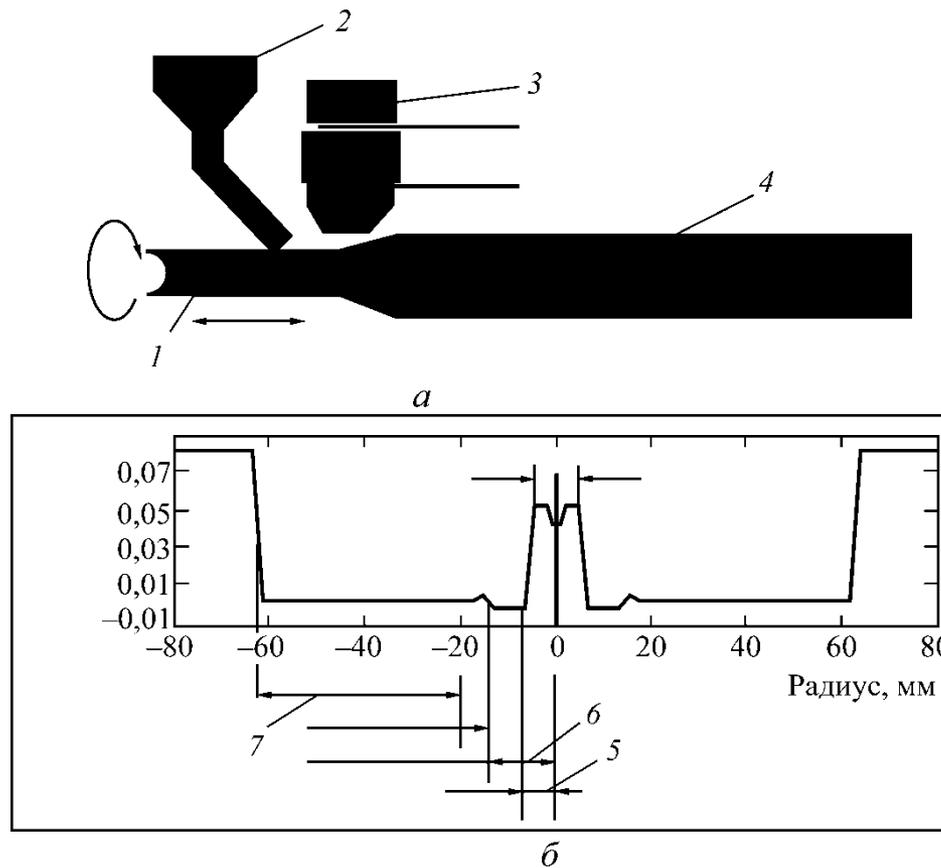
Наименование метода	MCVD	PMCVD	PCVD	OVD	VAD
Тип химич. реакции	окисление	окисление	окисление	гидролиз	гидролиз
Вид подачи энергии	$H_2 - O_2$ – горелка	ВЧ – плазма	СВЧ – плазма	$H_2 - O_2$ – горелка	$H_2 - O_2$ – горелка
Скорость осаждения, г/мин	0,5 - 2	3 - 6	0,5 – 2,5	до 6	до 4,5
Эффективность осаждения $SiCl_4$	50-60 %	70-90 %	100%	50 – 70 %	50 – 70 %
Кол-во ОВ из заготовки, км	до 400	до 400	до 1000	➤2500	➤2500
Контроль ППП	очень легкий	не легкий	очень легкий	легкий	осуществим

Методы формирования кварцевой оболочки

	OVD	APVD	RIC	Sand
				
Производительность	Высок.	Сред.	Высок.	Высок.
Затраты на произв. оболочки	Низк.	Низк.	Сред.	Low
Затраты на оборудование	Высок.	Сред.	Низк.	Сред.
В/А сердечника	Сред.	Сред.	Низк.	Низк.
Размер преформы	Больш.	Больш.	Очень больш.	Сред.



«Жакетирование» заготовки: 1 – исходная заготовка; 2 – заготовка в дополнительной кварцевой трубке



Осаждение кварцевого стекла на заготовку с помощью плазменной горелки (а) и профиль показателя преломления *SM* волокна, изготовленного методом *APVD* (б): 1 – исходная заготовка; 2 – емкость с кварцевым порошком; 3 – плазменная горелка; 4 – сформированная заготовка; 5 – радиус сердцевины; 6 – диаметр исходной заготовки; 7 – толщина наращенной технологической оболочки