

# Лекция 7



## Сенсоры на основе фотонных кристаллов

- Рефрактометрические сенсоры.
- Химические сенсоры.
- Смешанные сенсоры.
- Усиление Рамановского рассеяния.



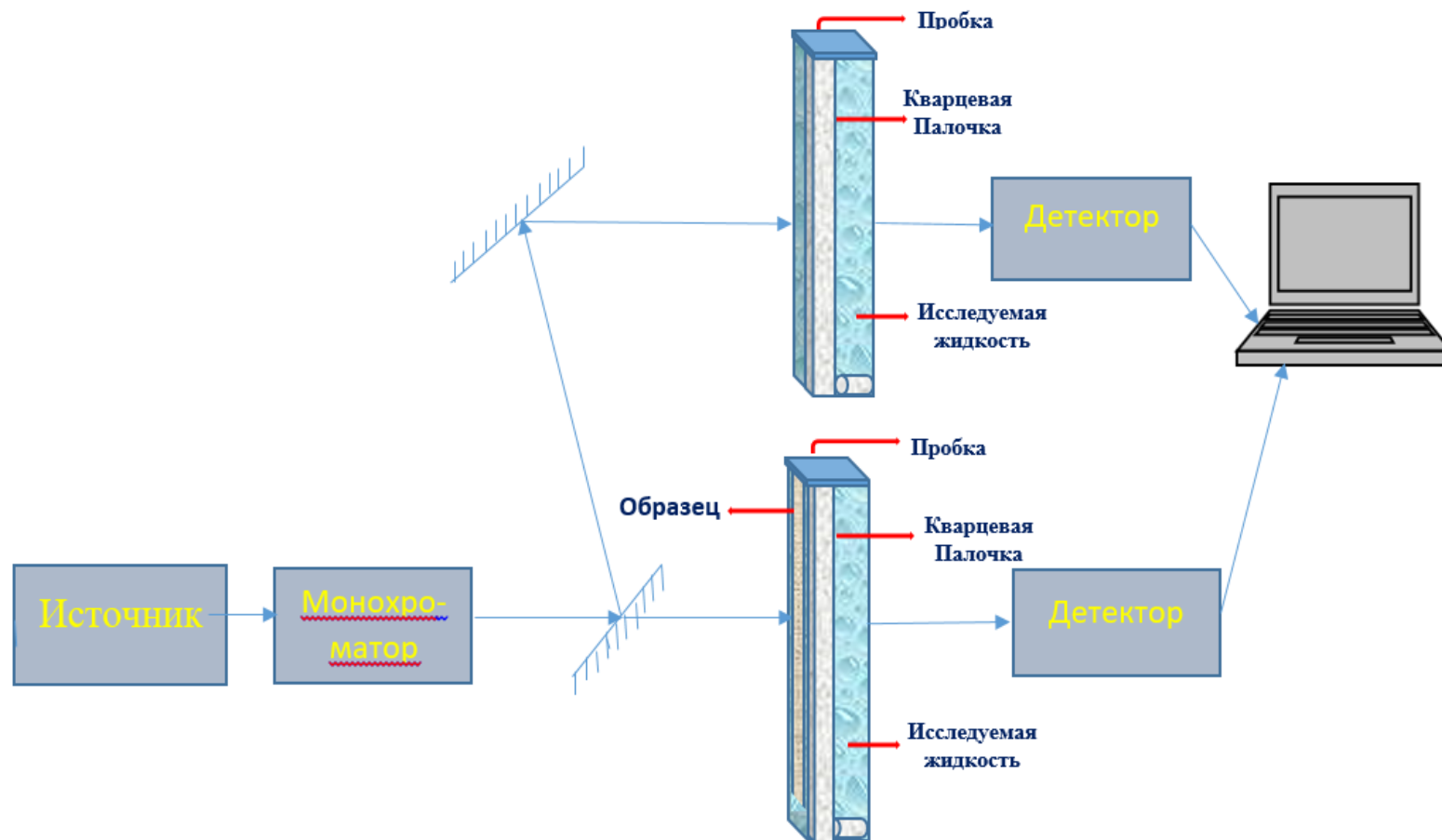
## 1. Рефрактометрические сенсоры

Спектральное положение стоп-зоны в нормальном направлении (Брэгговская дифракция):

$$\lambda = 2dn_{eff}$$
$$n_{eff} = \sqrt{n_i^2 P + n^2 \cdot (1 - P)}$$



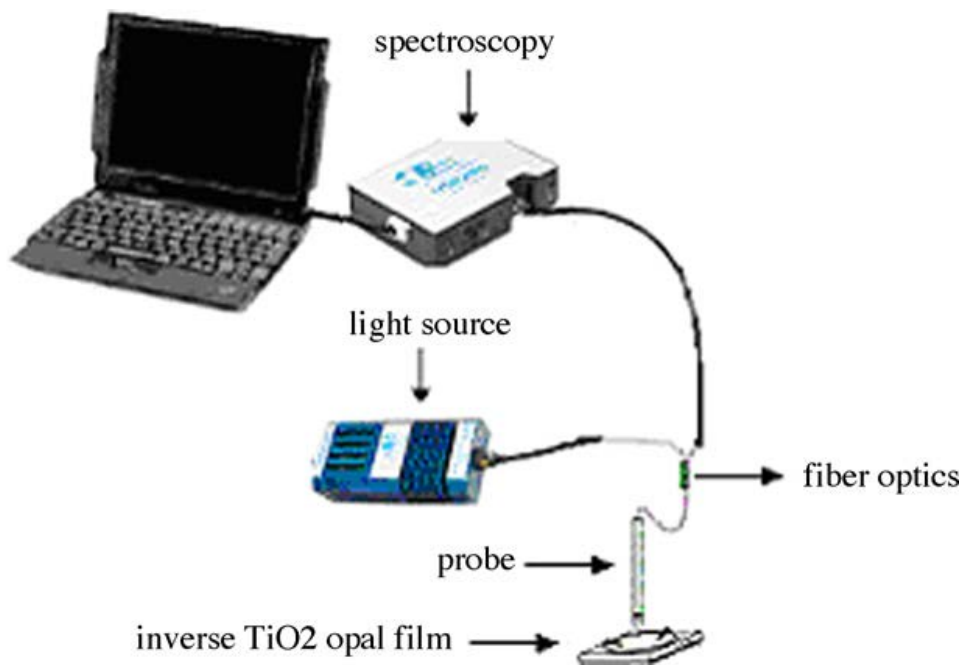
## Аппаратура и принадлежности



Измерительная схема для съемки пропускания  
(на базе спектрофотометра Perkin Elmer Lambda 35).

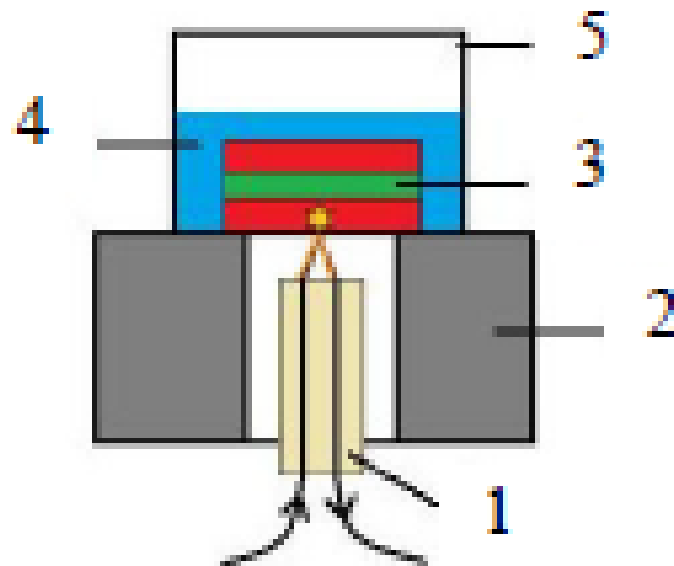


## Аппаратура и принадлежности



### Измерительная схема для съемки отражения

J. L. Li and T. S. Zheng, *Sensors and Actuators B*, 2008, **131**, 190.



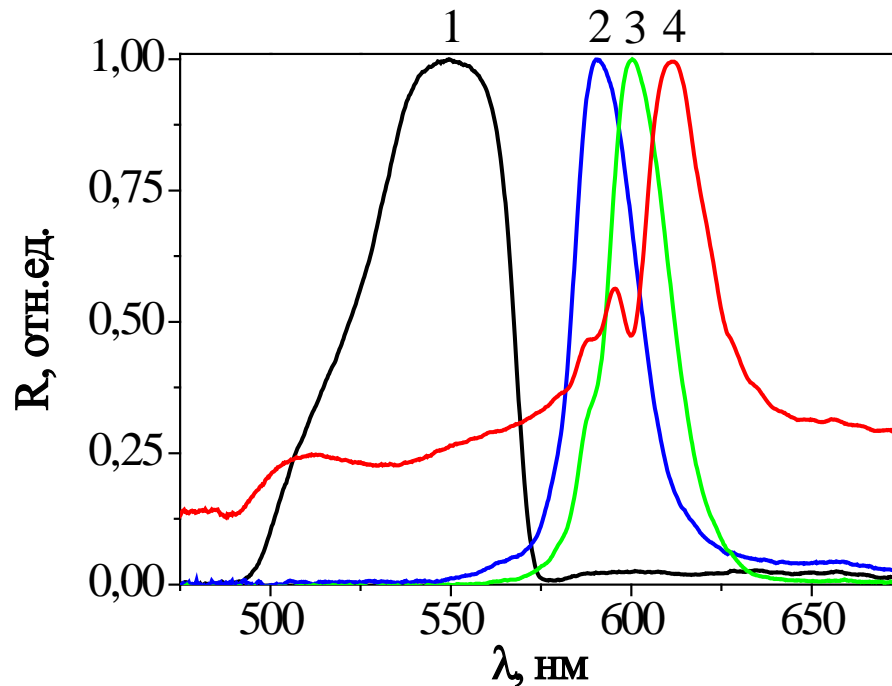
### Схема съемки с вертикаль- ным оптическим зондом:

- 1 – оптоволоконный зонд,
- 2 – крепежная платформа,
- 3 – образец, 4 – аналит,
- 5 – пластиковый сосуд.

M. Ashurov et al., *Photonic Sensors*, 2019.



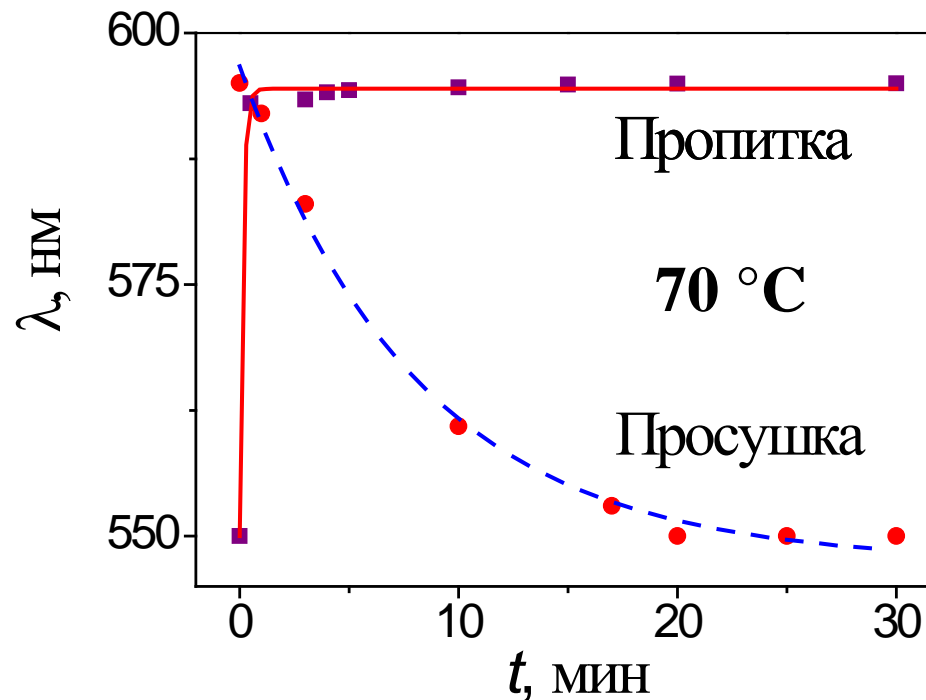
## Сенсор на основе анодного оксида алюминия



Нормализованные спектры для ФК из анодного оксида алюминия:  
1 – сухой, 2 – пропитанный водой, 3 – 46 вес.% глицерином, 4 – чистым глицерином.



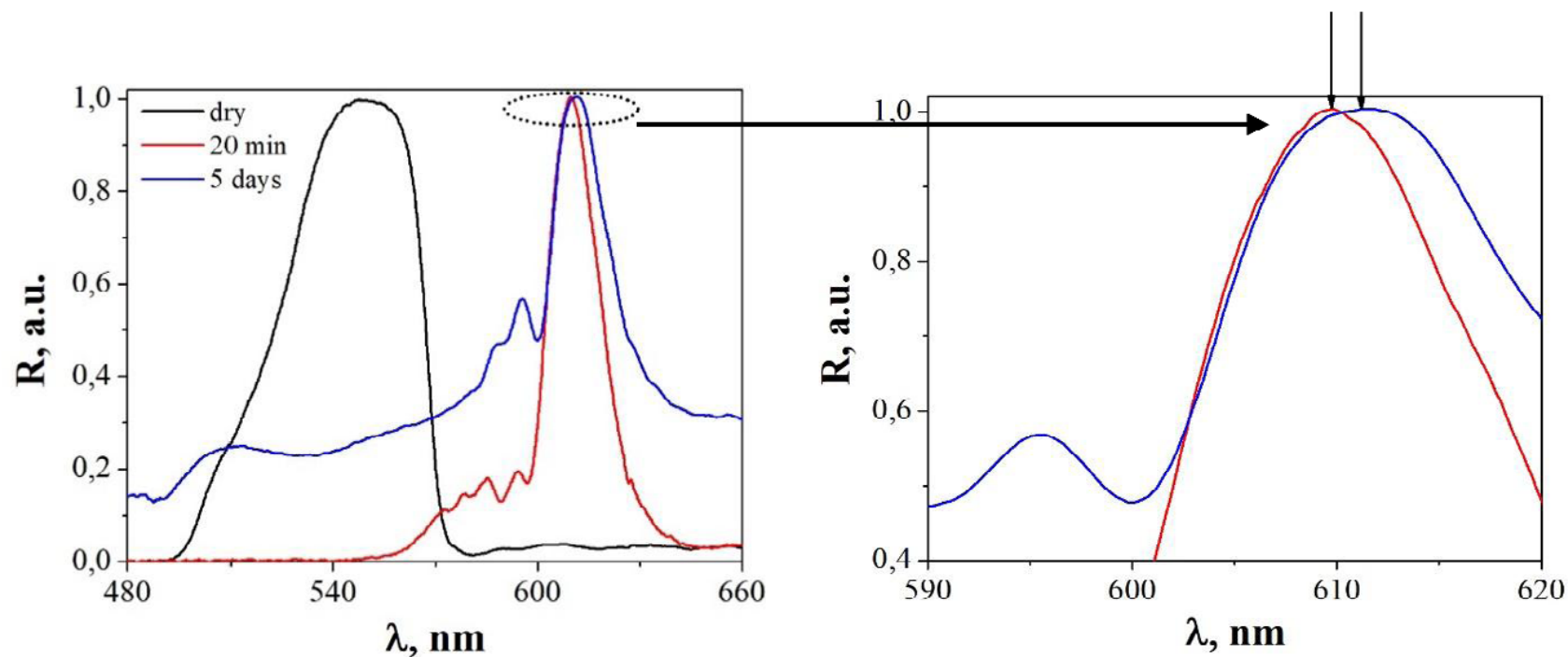
## Сенсор на основе анодного оксида алюминия



Динамика пропитки 50% этанолом и последующей просушки



## Сенсор на основе анодного оксида алюминия

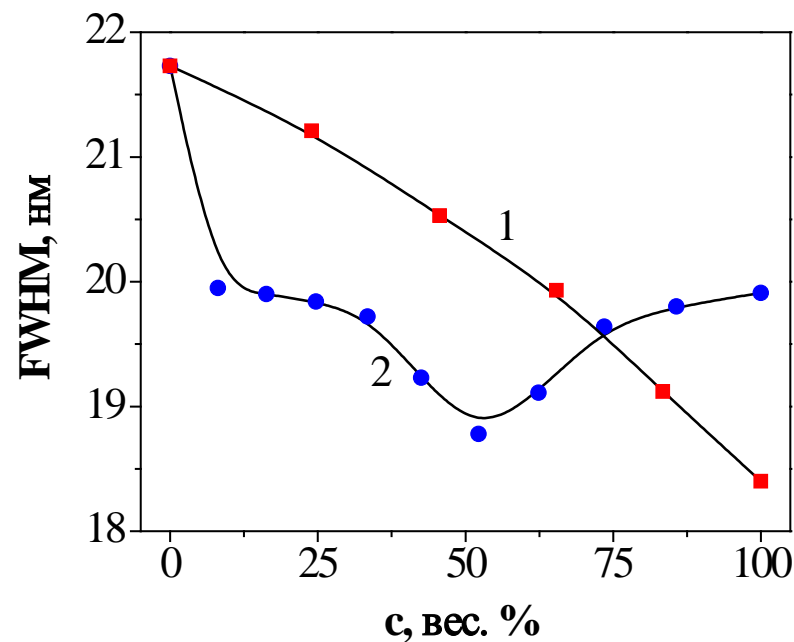
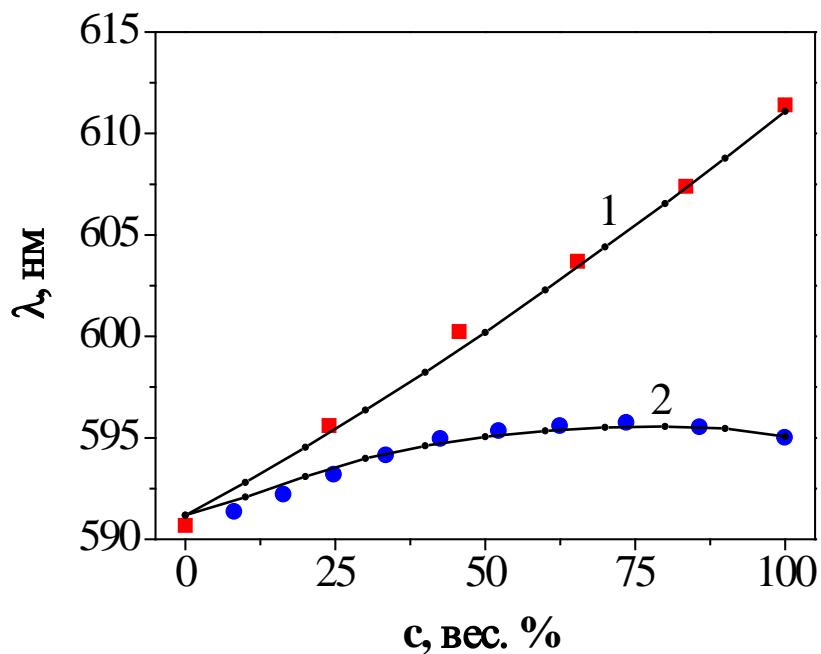


### Динамика пропитки глицерином





## Сенсор на основе анодного оксида алюминия

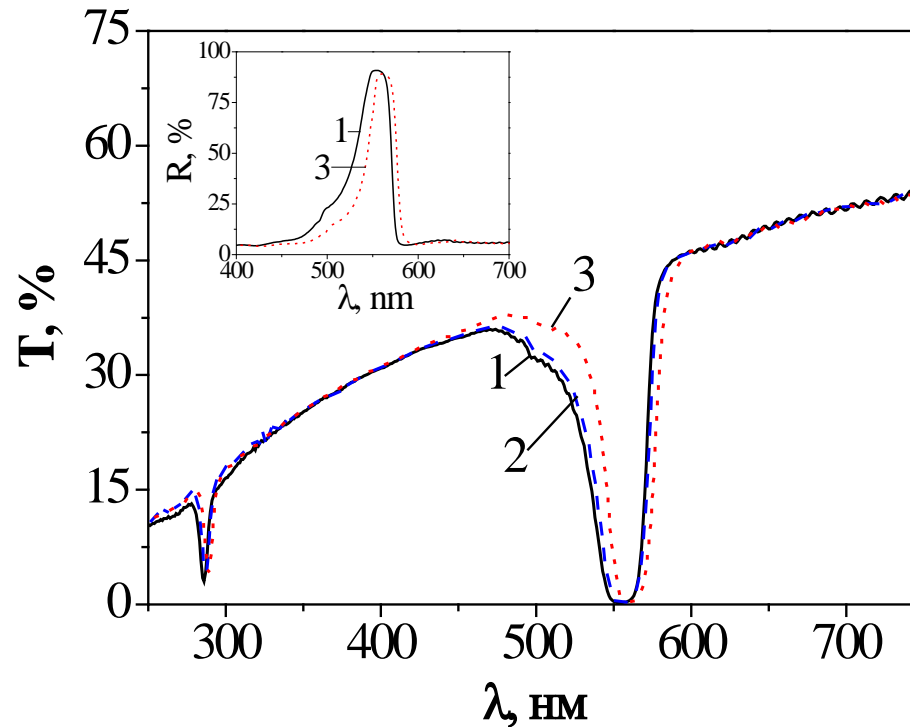


Положение пика отражения (слева) и его полуширина (справа) в зависимости от состава анализируемой смеси:  
1 – вода-глицерин, 2 – вода-этанол.





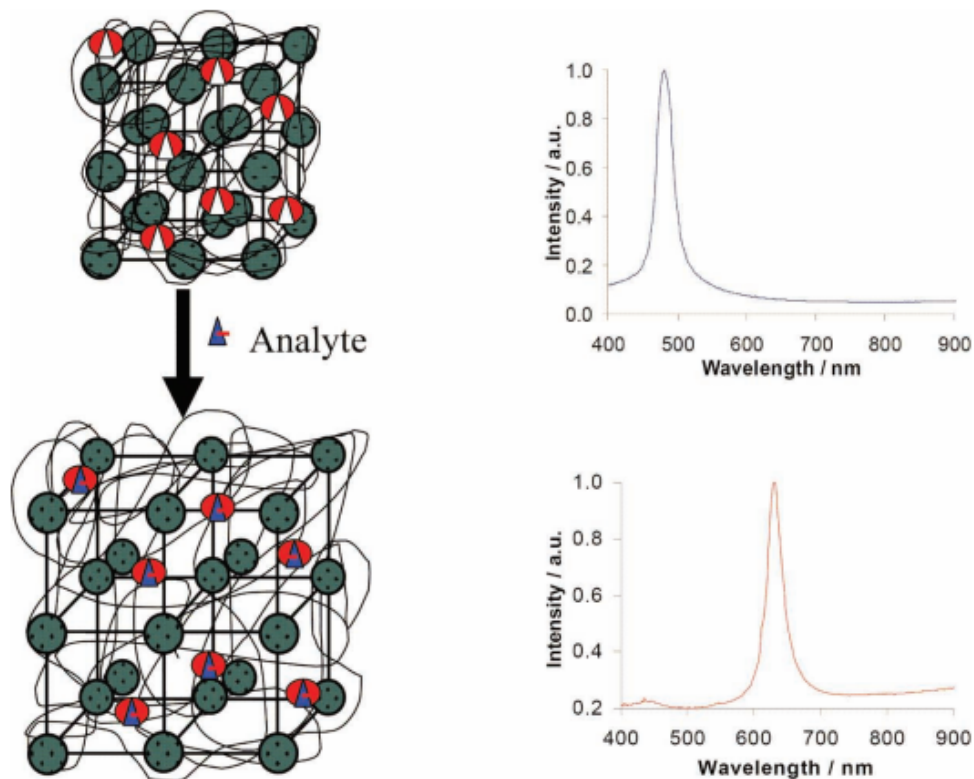
## Сенсор на основе анодного оксида алюминия



Деградация сенсора после нескольких циклов пропитки водой.  
Число циклов: 1 – 0, 2 – 4, 3 – 10.



## 2. Химические сенсоры

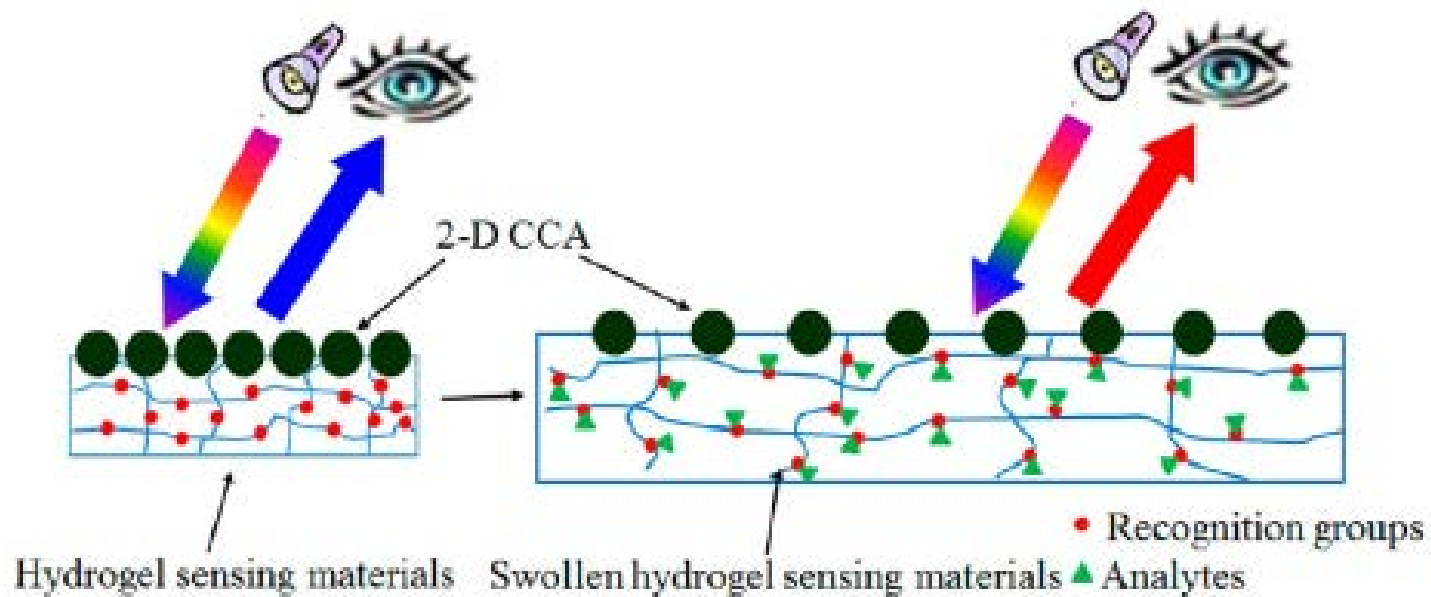


**Фотонный кристалл как сенсор глюкозы.**

Предел чувствительности -  $\sim 1 \mu\text{mol/L}$ .

V. L. Alexeev, S. Das, D. N. Finegold and S. A. Asher,  
*Clin. Chem.* 2004, **50**, 2353.

# Химические сенсоры

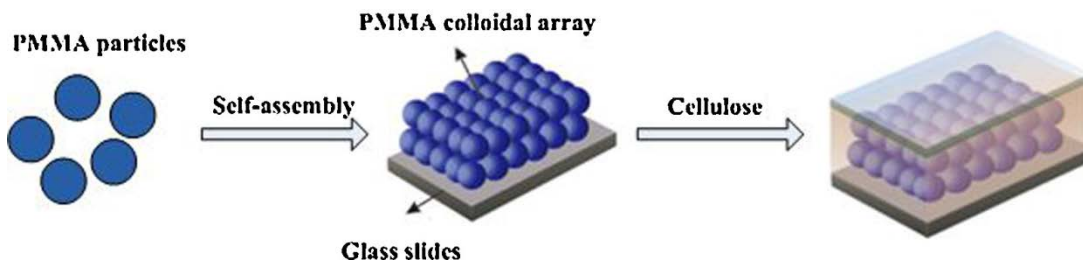


**Двумерный ФК сенсор.**

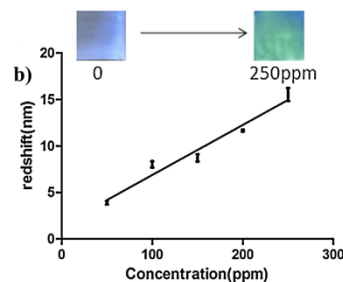
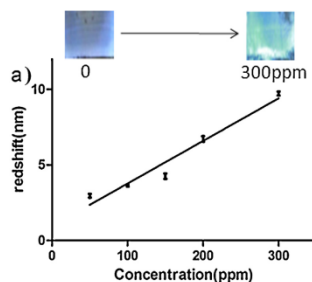
Zh. Cai et al., *Anal. Chem.* 2015, **87**, 5013.



## 3. Смешанные сенсоры

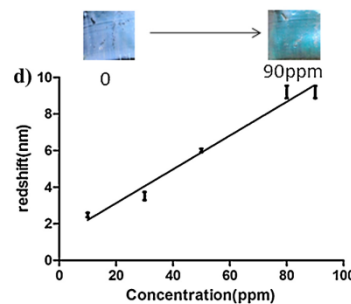
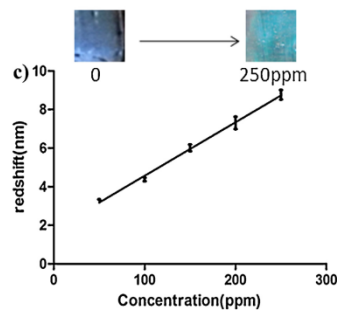


Этанол



N-пропанол

Изопропанол



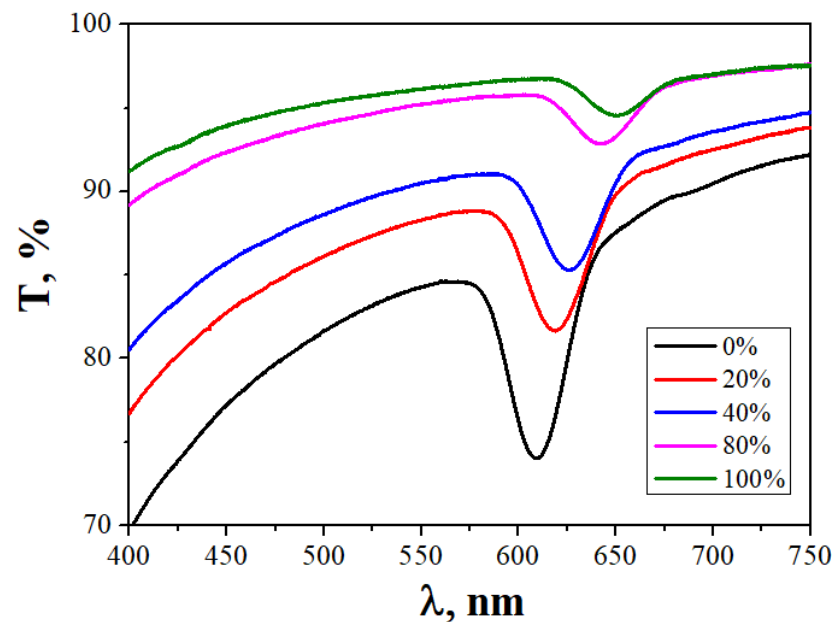
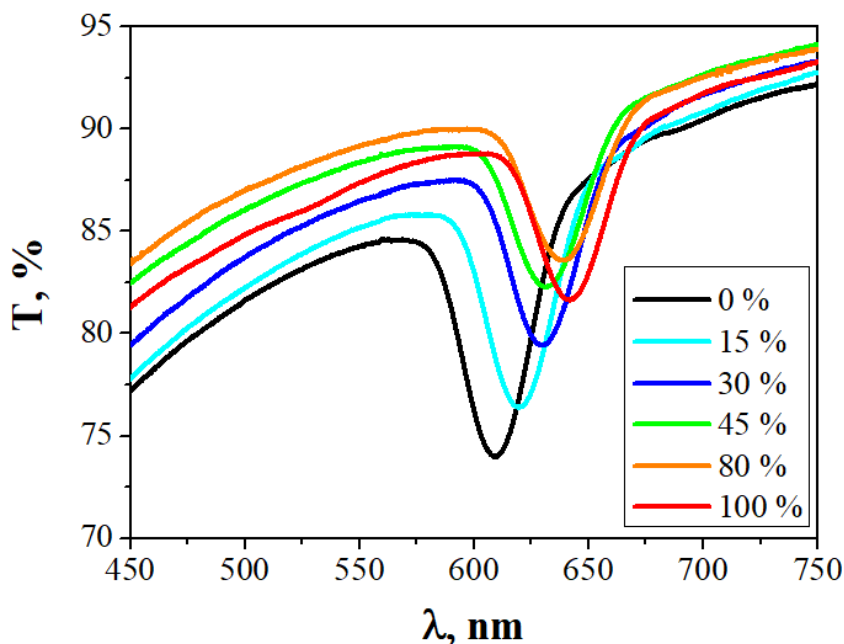
N-бутанол

Сенсор спиртовых паров

F. Wang et al., *Sensors and Actuators B* 2015, **220**, 222.



## Смешанный рефракто-химический сенсор из ЕТРТА



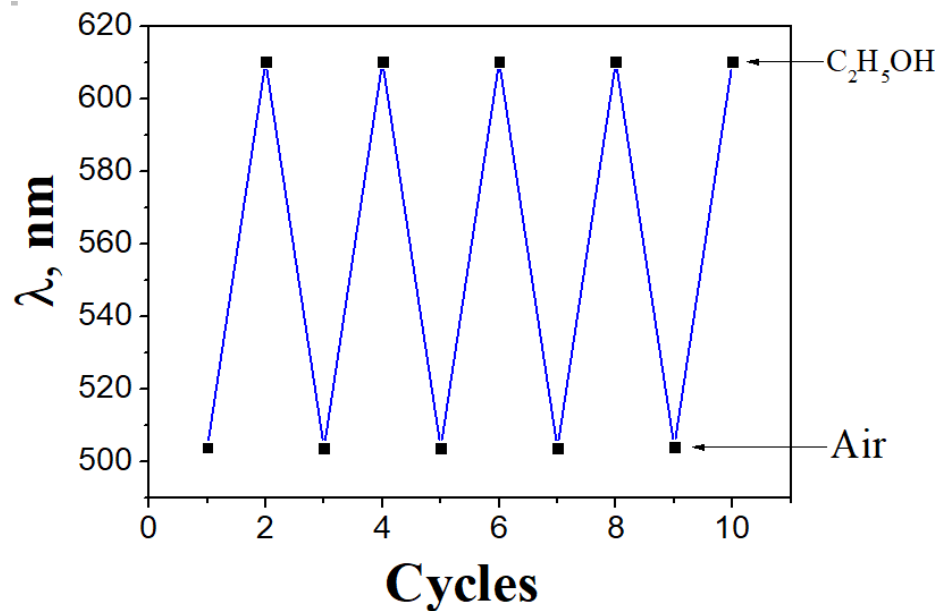
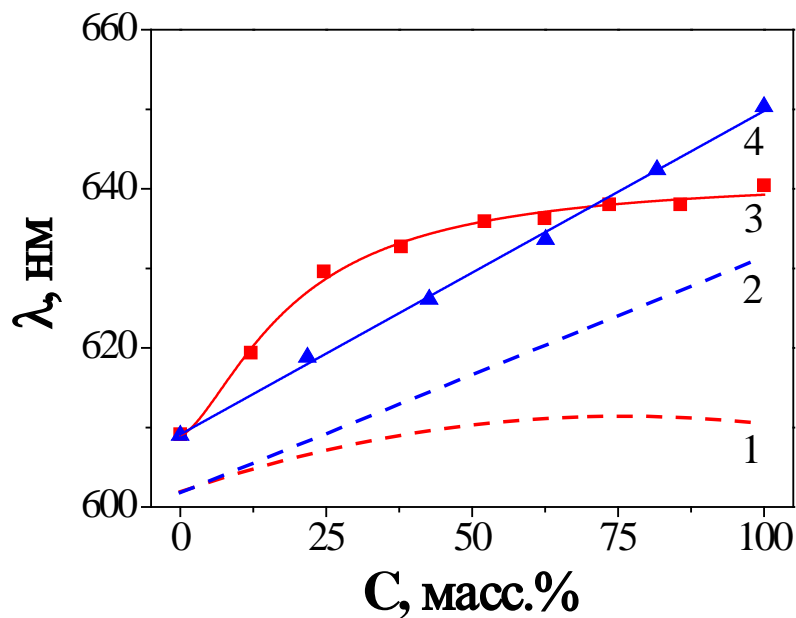
**Смещение стоп-зоны при пропитке смесями вода-этанол и вода-этиленгликоль.**

M.S. Ashurov et al., *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2020, **1461**, 012009;

М.С. Ашуров, С.А. Икрами, С.О. Климонский. *Материаловедение*, 2020, № 10, 17-23.



## Смешанный рефракто-химический сенсор из ЕТРТА



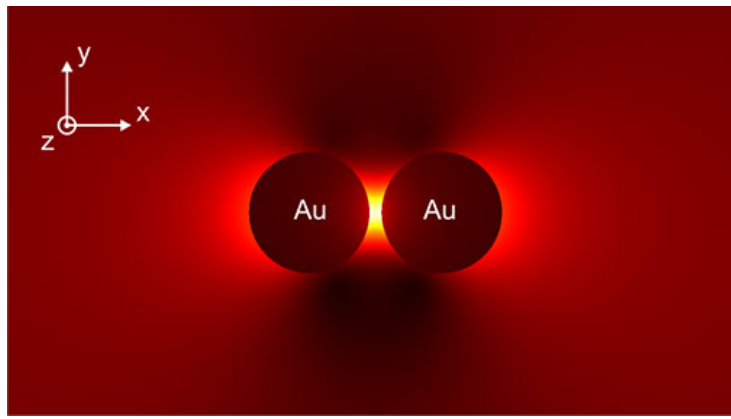
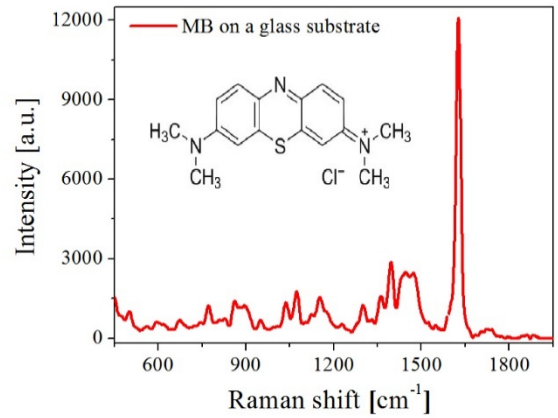
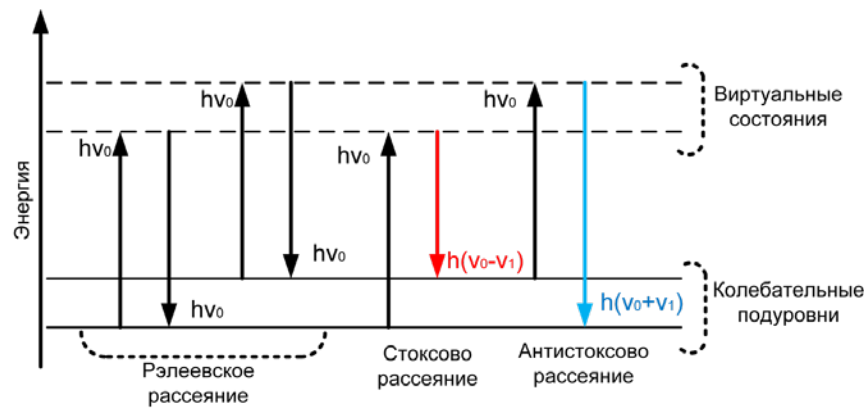
**Смещение стоп-зоны при пропитке смесями вода-этанол и вода-этиленгликоль.**

М.С. Ашуров, С.А. Икрами, С.О. Климонский. *Материаловедение*, 2020, № 10, 17-23.



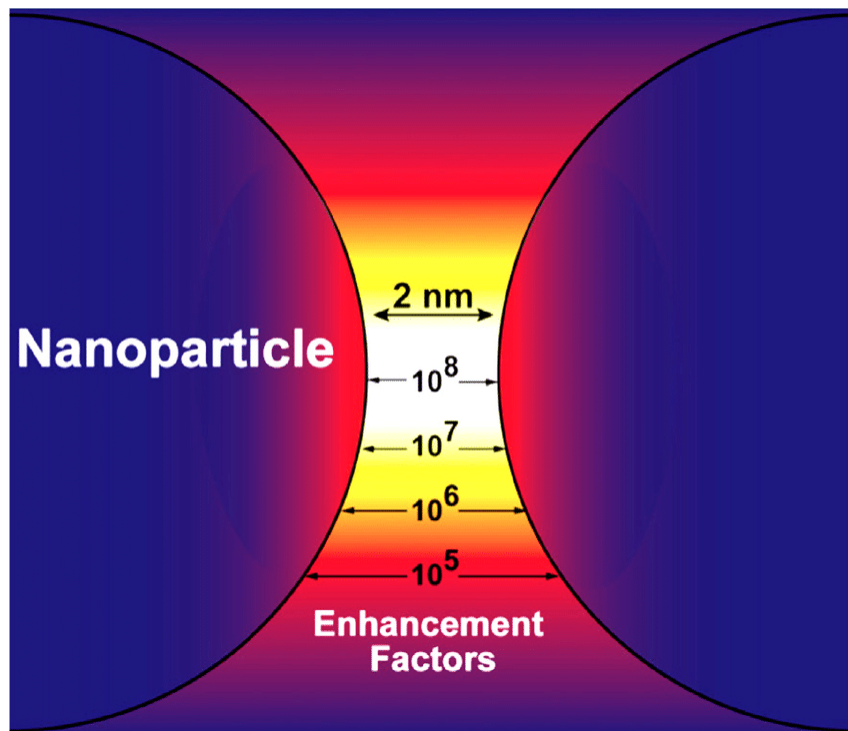


## Комбинационное рассеяние



## «Горячая точка» ГКР





Степень усиления

$$SMEF \approx \frac{|E_{loc}(\omega_L)|^4}{|E_{inc}|^4}$$

«Горячая точка» ГКР



## Усиление вынужденного Рамановского рассеяния в ФК

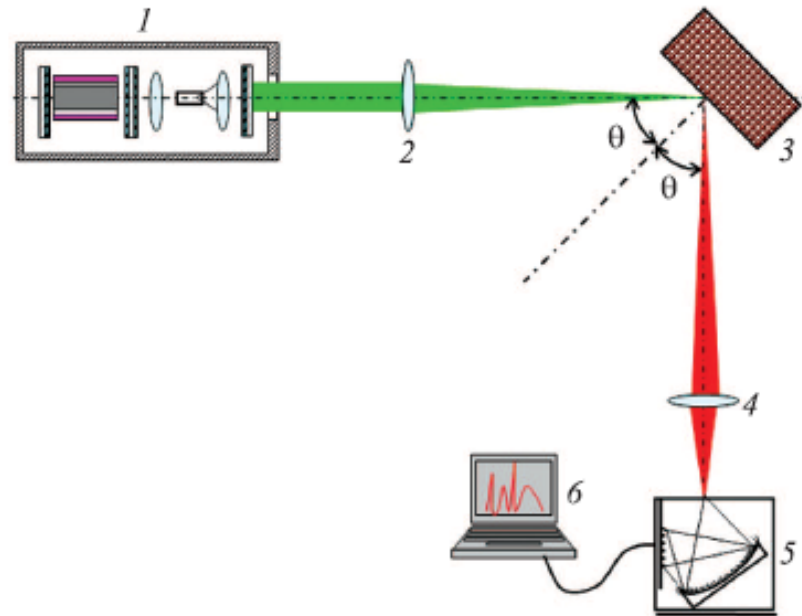


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для возбуждения ВКР в жидкостях, введенных в поры фотонного кристалла: 1 – лазер, 2 – линза, фокусирующая излучение на образец, 3 – образец, 4 – линза, фокусирующая отраженное излучение на щель спектрометра, 5 – спектрометр, 6 – компьютер

Я. Альмохамед и др. Письма в ЖЭТФ, 2015, **101**, 399.



## Усиление вынужденного Рамановского рассеяния в ФК

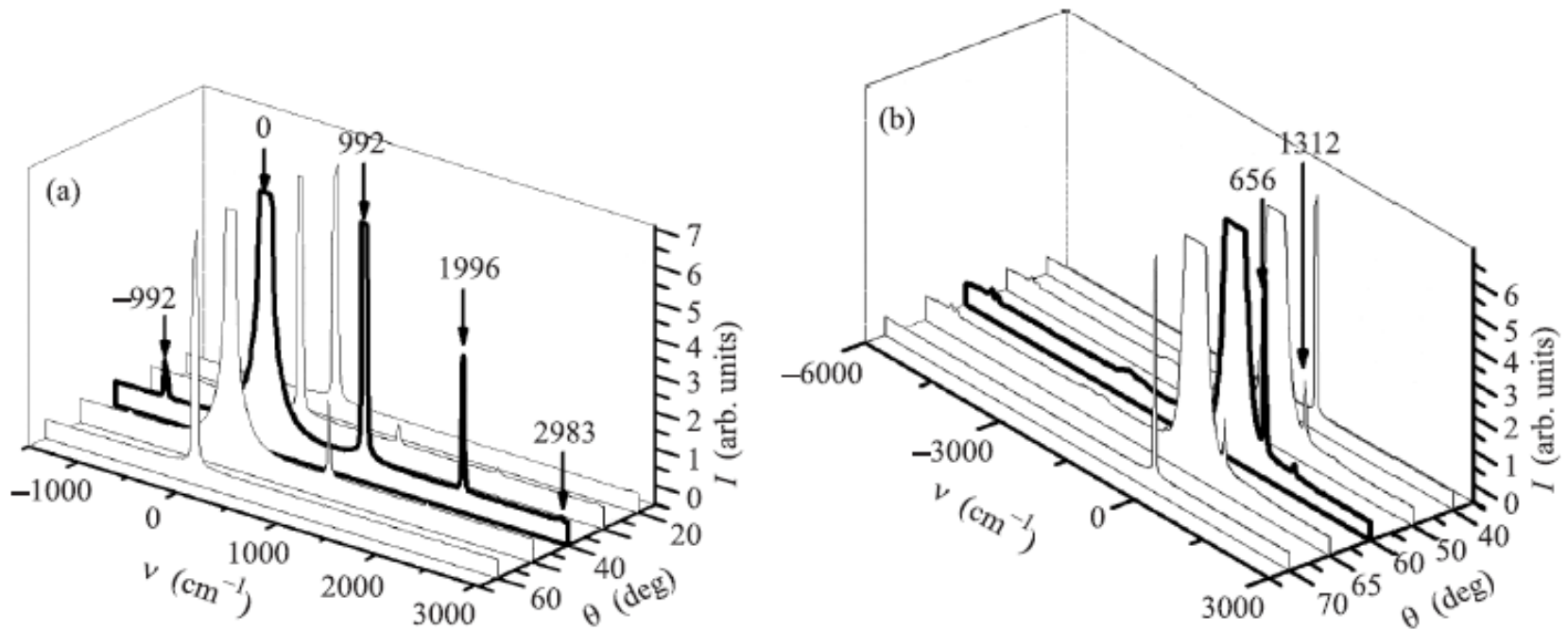


Рис. 4. Спектры ВКР в ГФК, заполненных бензолом (а) и сероуглеродом (б), при различных углах  $\theta$  зеркального отражения от поверхности (111). Интенсивность накачки  $0.12 \text{ ГВт}/\text{см}^2$  для бензола и  $0.14 \text{ ГВт}/\text{см}^2$  для сероуглерода



## Усиление вынужденного Рамановского рассеяния в ФК

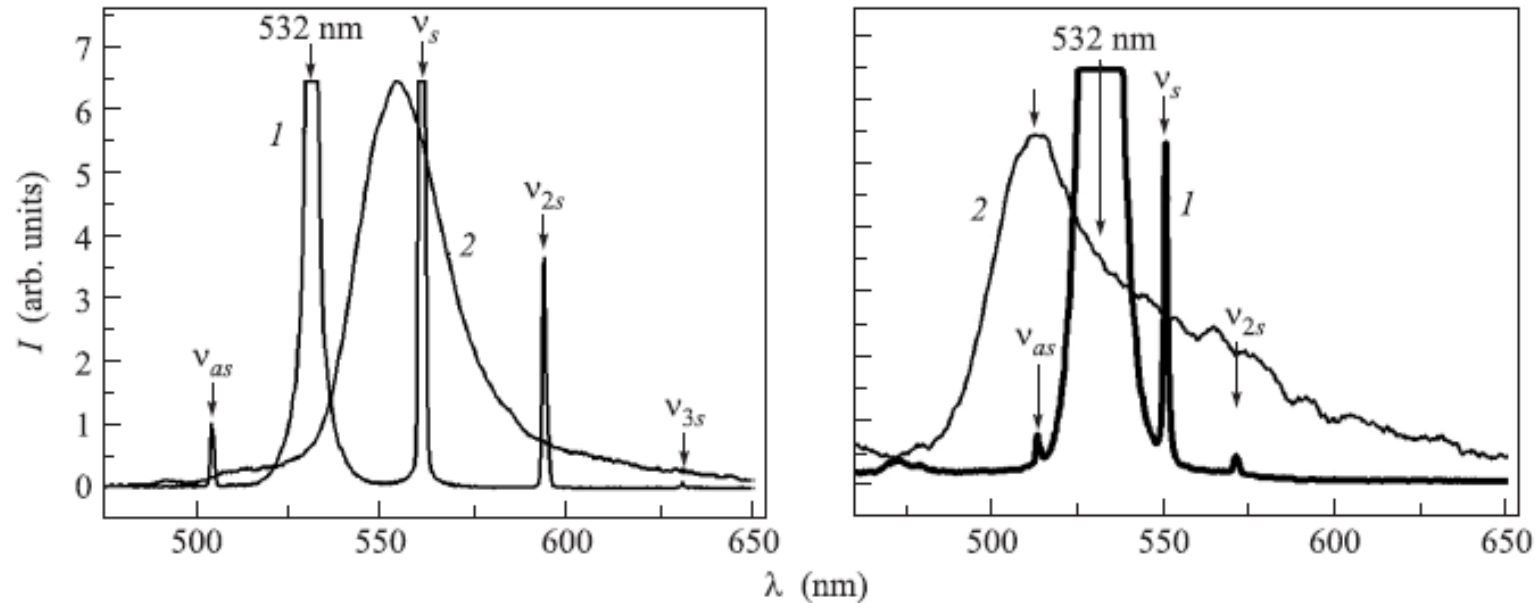


Рис. 5. Сравнение вида спектров ВКР в ГФК, пропитанном бензолом (а) и сероуглеродом (б) (кривые 1), со спектрами зеркального отражения широкополосного излучения от поверхности соответствующих опаловых матриц (кривые 2) при критическом угле зеркального отражения  $\theta_s$  ( $40^\circ$  для бензола и  $60^\circ$  для сероуглерода)

Я. Альмохамед и др. Письма в ЖЭТФ, 2015, **101**, 399.