

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ"

Факультет фотоники и оптоинформатики
кафедра оптоинформационных технологий и материалов

Выпускная квалификационная работа

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОХРОМНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В
КРИСТАЛЛАХ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ
СРЕДЫ В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА**

Студентка группы 4351: Аксенова К.А.
Научный руководитель: Щеулин А.С., д.ф.-м.н.



Актуальность работы

- ✓ Постэкспозиционная фототермическая обработка кристалла фторида кальция предоставляет возможность получать эффективные голограммы для ИК диапазона спектра.
- ✓ Метод, основанный на теории Крамерса-Кронига, позволяет прогнозировать свойства таких голограмм по спектру поглощения фотохромного кристалла.
- ✓ Такие голограммы могут быть использованы в качестве пропускающих и отражательных голографических интерференционных фильтров с необходимым пропусканием или отражением на той или иной длине волны.



Цель и задачи работы

✓ Цель : получение данных о голографических свойствах кристалла флюорита в инфракрасной области спектра

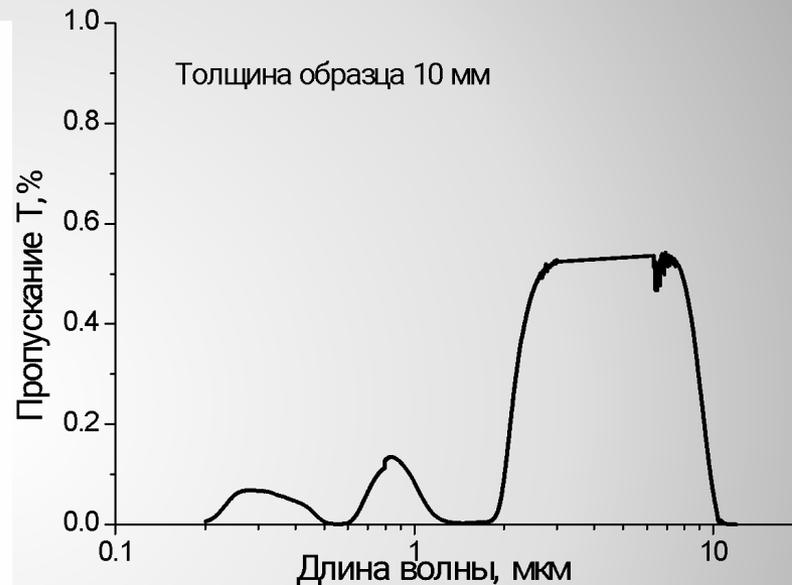
Задачи :

1. Исследование спектральных характеристик кристаллов флюорита, содержащих фотохромные центры окраски, описание методики их измерения
2. Рассмотрение процессов записи голограммы в кристаллах фторида кальция
3. Разработка методики расчета голографических характеристик объемных пропускающих и отражательных голограмм в кристалле фторида кальция с помощью теории Крамерса-Кронига
4. Расчет голографических характеристик кристалла фторида кальция с фотохромными центрами окраски в ближнем и среднем ИК-диапазоне спектра по измеренным спектрам поглощения кристалла
5. Анализ полученных данных и формулировка выводов о возможности использования среды в ближней и средней ИК-области спектра.

Спектральные характеристики кристалла флюорита



Спектр пропускания чистого флюорита

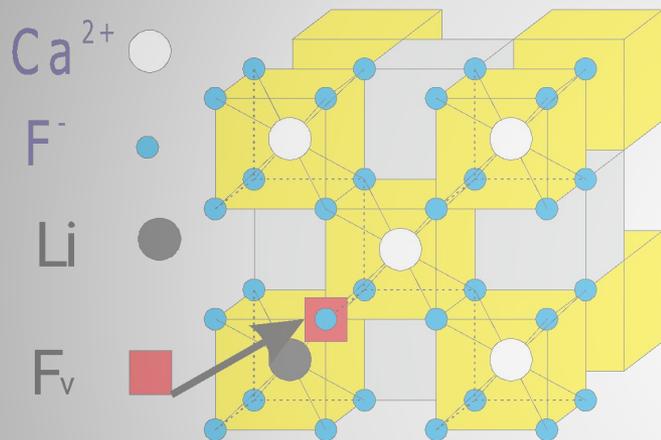


Пропускание аддитивно-окрашенного кристалла



Формирование центров окраски в кристаллах фторида кальция

Структура флюорита



| | |
|--|----------------------------|
| Постоянная решетки | 0.54626 нм |
| Плотность | 3.180 г/см ³ |
| Показатель преломления | 1.433 |
| Область прозрачности | 130–10000 нм |
| Температурная дисперсия показателя преломления | -8.65·10 ⁻⁶ 1/К |
| Коэффициент линейного расширения | 18.9·10 ⁻⁶ 1/К |

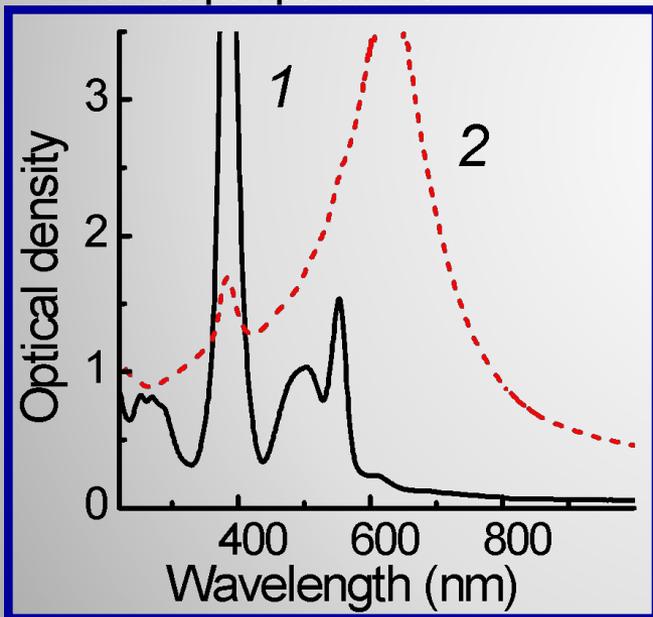
Выращенный (справа) и равномерно окрашенный по объему (слева) образцы CaF₂ толщиной 6 мм и диаметром 15 мм



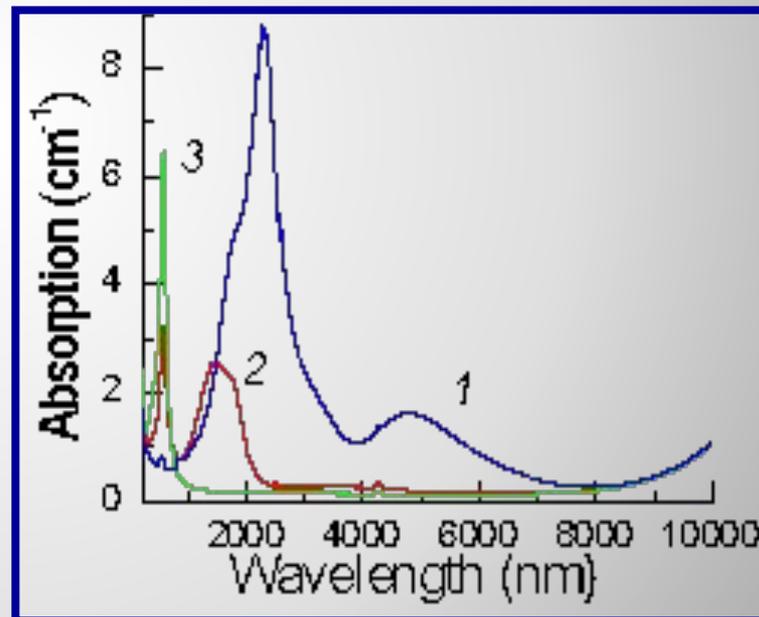
Классификация центров окраски в кристаллах CaF_2

| Тип центра | Число вакансий | Полосы поглощения, нм | Размер центра, нм |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| "Простые" (F, M, R, N) | 1, 2, 3, 4 | 200 ÷ 550 | 0.3 ÷ 0.5 |
| Квази-коллоидные | ≥ 5 | 550 ÷ 5500 | Двумерные (20÷50)×1.4 |
| Коллоидные | $\sim 10^3 \div 10^4$ | 550 ÷ 650 | Двумерные (30÷300)×1.4 |

Высокоагрегированные



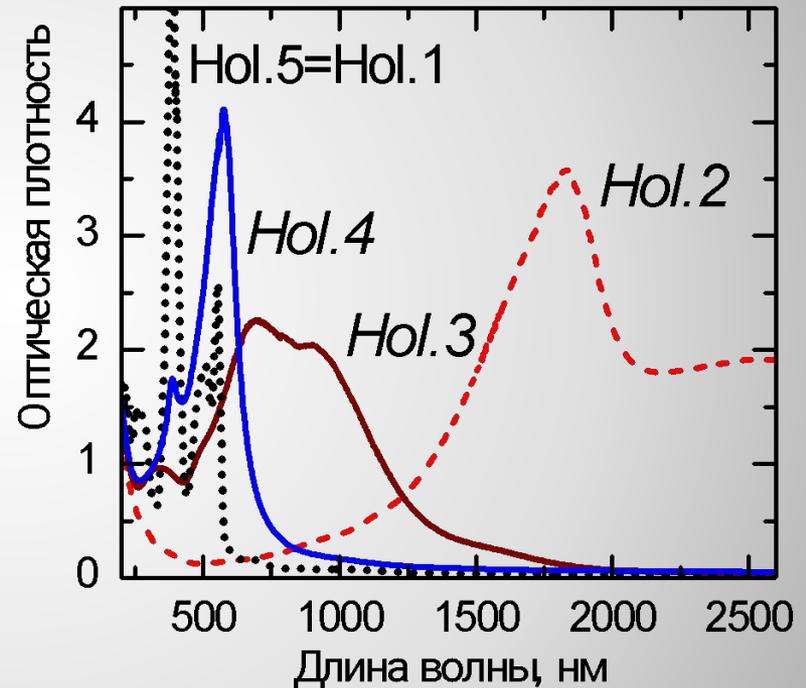
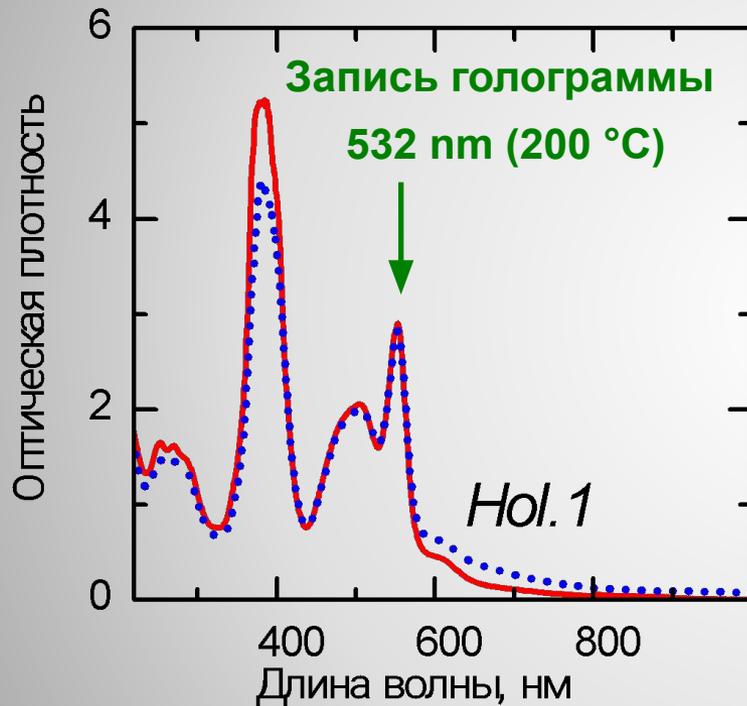
Спектры поглощения простых (1) и коллоидных (2) центров окраски в кристаллах CaF_2



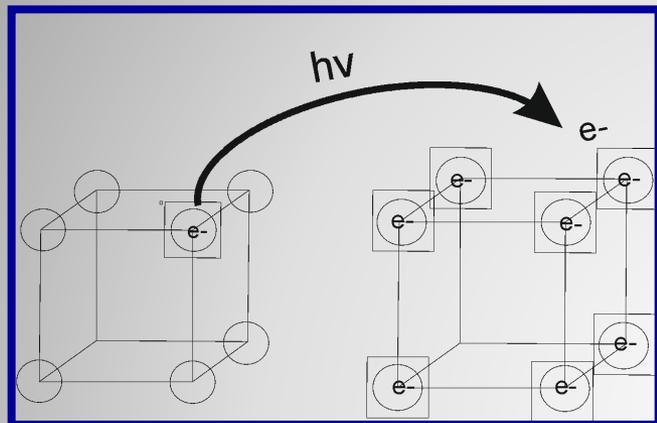
Спектры поглощения квази-коллоидных центров окраски в кристаллах CaF_2 (1), (2) преобразование в коллоидные (3)



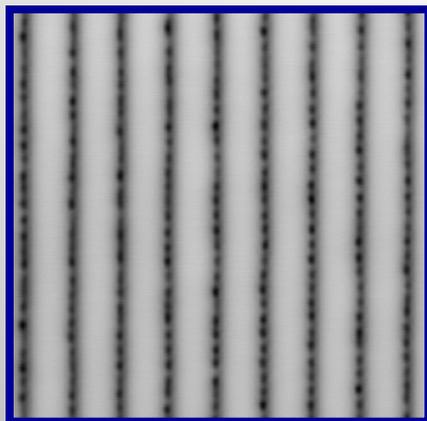
Изменение спектра поглощения в кристалле с голограммой



Механизм формирования голограммы

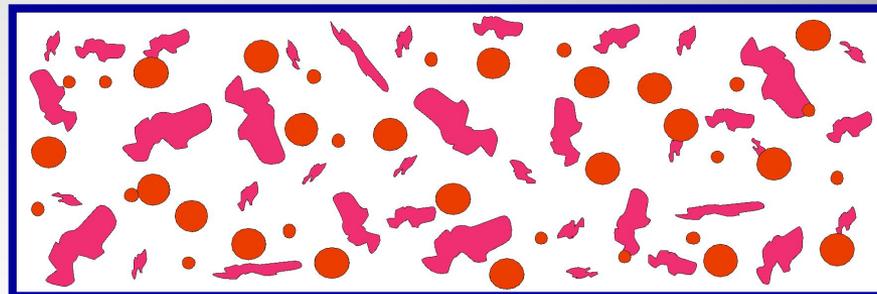


Диффузно-дрейфовый механизм в кристалле



Конфокальный микроскоп
Zeiss LSM-710

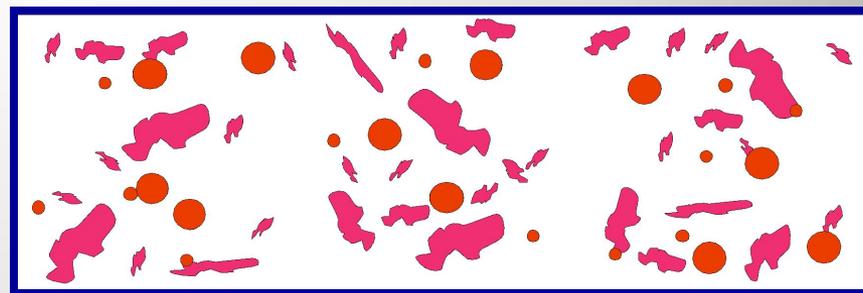
До начала записи голограммы



Коллоидные
центры окраски

Простые
центры окраски

$\lambda = 532 \text{ нм}$



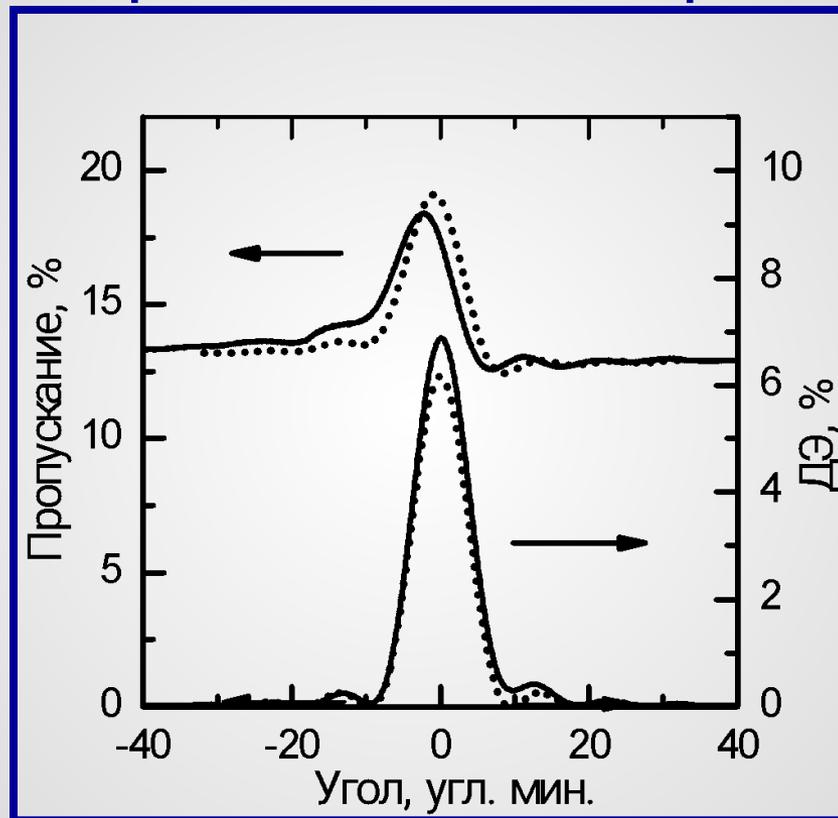
Запись голограммы:

$T \sim 150\text{--}250^\circ\text{C}$

$\lambda: 300\text{--}532 \text{ нм}$



Степень пространственного перераспределения центров окраски



Контура угловой селективности ДЭ в нулевом (пропускание) и первом порядках дифракции



Расчет по методу Крамерса- Кронига

$$\delta n(v_1) = \frac{c_0}{2\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{\delta\alpha(v) dv}{v^2 - v_1^2} \quad \text{Формула Крамерса-Кронига}$$

где c_0 – скорость света, v – волновое число, $\delta\alpha(v)$ – амплитуда модуляции показателя поглощения в образце с голограммой на длине волны $\lambda=1/v$, $\delta n(v_1)$ – амплитуда модуляции показателя преломления в образце с голограммой.

$$\alpha(x) = \alpha + \delta\alpha \cos\left(\frac{2\pi x}{h}\right) \quad \begin{array}{l} \text{Пространственная} \quad \text{зависимость} \\ \text{показателя} \quad \text{поглощения} \quad (\alpha) \text{ от} \\ \text{координаты} \quad x \quad \text{в кристалле с} \\ \text{голограммой} \end{array}$$

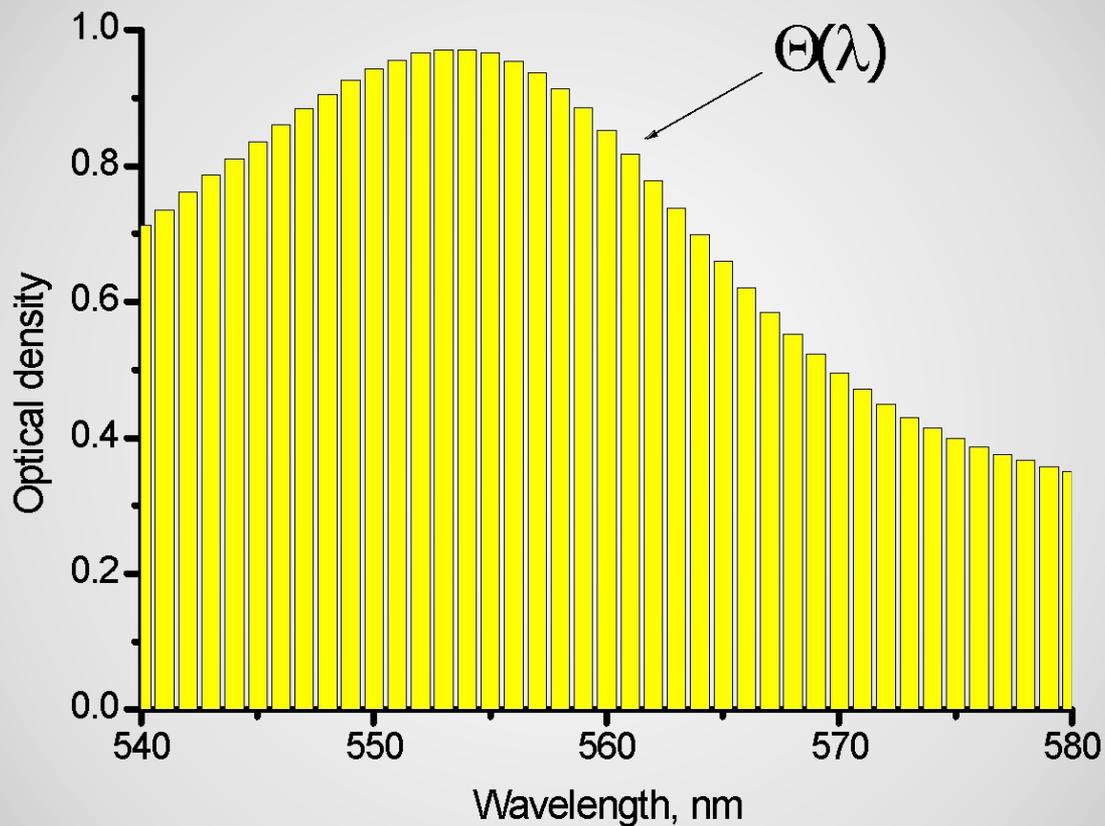
Область интегрирования в формуле выбирается равной области прозрачности кристалла 200нм - 9,6 мкм

Амплитуда модуляции концентрации центров окраски предполагается равной 100%. Эта величина равна среднему спектру поглощению кристалла.



$$\delta\alpha(v) = \alpha(v)$$

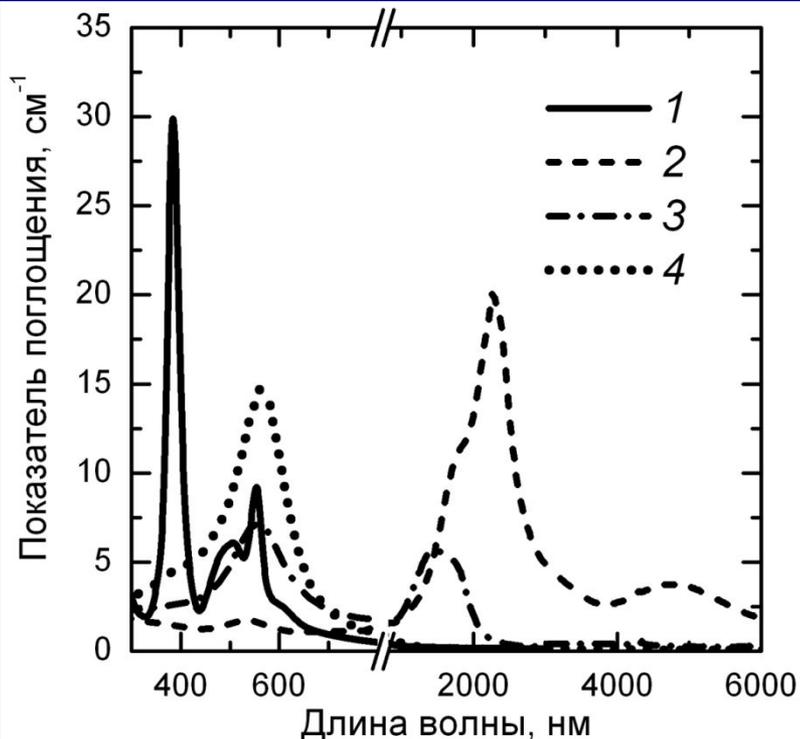
Методика расчета с помощью дискретного представления спектра поглощения



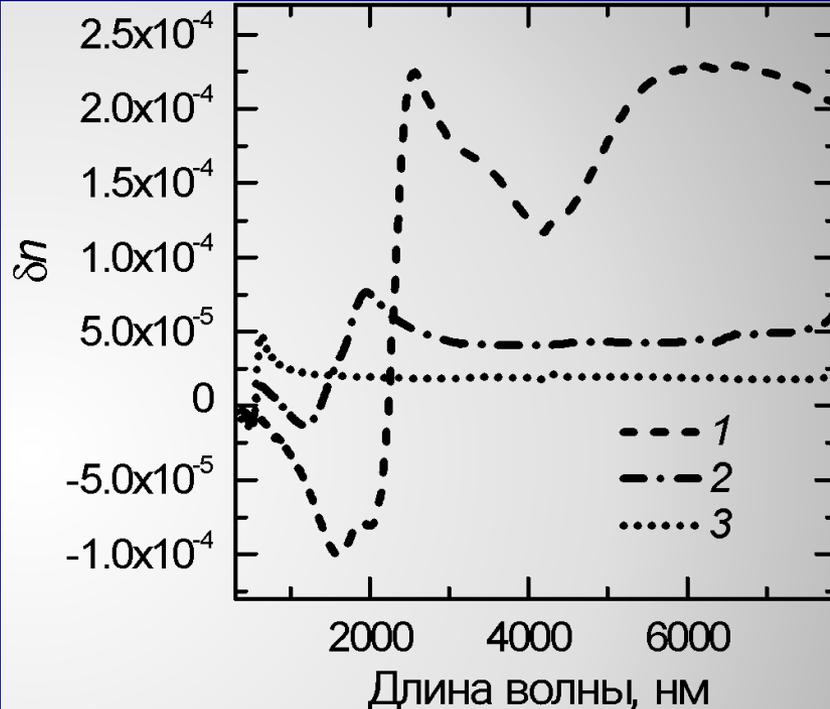
Спектр представлен в виде суммы
прямоугольных функций



Результаты расчета



Спектры поглощения исходного аддитивно окрашенного кристалла CaF_2 (1) и того же кристалла, подвергнутого фототермической обработке в режимах (2-4).



Спектральная зависимость амплитуды модуляции показателя преломления 1–3 - для состояний кристалла CaF_2 , показанных соответственно кривыми 2–4 слева.



Расчет дифракционной эффективности

Формулы для расчета дифракционной эффективности по величине амплитуд модуляции показателя преломления и показателя поглощения

$$\eta_m(\theta) = 2 \exp\left(-\frac{2\alpha T}{\cos\theta}\right) \frac{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}{z_0} \left\{ \cosh\left[\frac{\sqrt{z_0} T \cos(\psi_0/2)}{\cos\theta}\right] - \cos\left[\frac{\sqrt{z_0} T \sin(\psi_0/2)}{\cos\theta}\right] \right\}$$

где $\eta_0(\theta)$, $\eta_m(\theta)$ ($m \geq 1$)-нулевой и следующие порядки

где α – средний коэффициент поглощения образца с голограммой на длине волны считывания, $n = 1.43$ – средний показатель преломления для той же длины волны, T – эффективная толщина голограммы, $\kappa_1 = \pi\delta n/\lambda$, $\kappa_2 = \delta\alpha/2$,

$$\mathcal{G} = \frac{4\pi n \sin\theta_m}{\lambda} (\sin\theta - \sin\theta_m) \quad \psi_0 = \arccos\left\{-\frac{[\mathcal{G}^2 + 4(\kappa_1^2 - \kappa_2^2)]}{z_0}\right\}$$

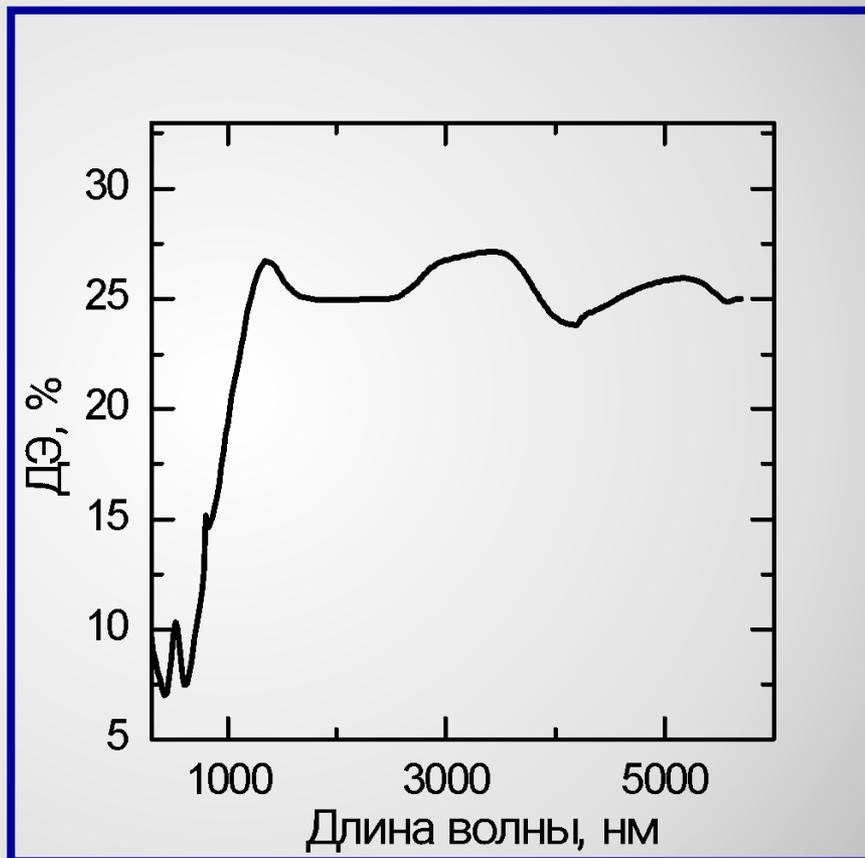
$$z_0 = \left[(\mathcal{G}^2 + 4(\kappa_1^2 - \kappa_2^2))^2 + (8\kappa_1\kappa_2)^2 \right]^{1/2}$$

Carretero L., Madrigal R.F., Fimia A., Blaya S., Beléndez A. Study of angular responses of mixed amplitude–phase holographic gratings: shifted Borrmann effect // Opt. Lett. 2001. V. 26. № 11. P. 786-788.



Спектральные зависимости дифракционной эффективности пропускающих голограмм

Период 2 мкм в первом порядке дифракции ($m = 1$), толщина 1 см.
Эксперимент: на длине волны 1,55 мкм получено дифракционная эффективность 26%.



Выводы

- ✓ Разработана модель формирования голограммы позволяющая рассчитывать ее дифракционные характеристики по спектру поглощения.
- ✓ 2) установлена высокая степень пространственной модуляции концентрации центров окраски в кристалле с голограммой.
- ✓ 3) Для получения образцов голограмм в кристаллах толщиной менее 10 мм необходимо использовать более интенсивно окрашенные кристаллы с большим показателем поглощения.



Благодарю за внимание!!!

E-mail: Aksen.a.k@mail.ru