

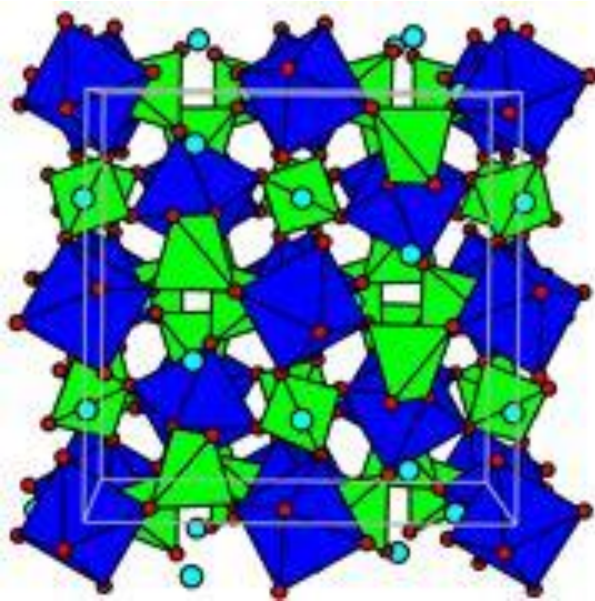
Температурная зависимость энергии Урбаха оптических керамик, допированных редкоземельными металлами

Подготовил: аспирант 2-го курса

ИЭФ УрО РАН Боронин В.А.

Научный руководитель: к.ф.-м.н Подгорнов Ф.В.

Актуальность



Нанокерамики на основе алюмоиттриевого граната (ширина запрещенной зоны 6,5 эВ), обладают высокой механической прочностью, термической (коэффициент термического расширения $7,81 \cdot 10^{-6}$ отн.ед.) и химической стойкостью.

Применение:

- активные элементы мощных и сверхмощных твердотельных лазеров
- изделия, работающие при высоких температурах
- колбы газоразрядных ламп с различным спектром свечения
- оптические окна с широким интервалом прозрачности

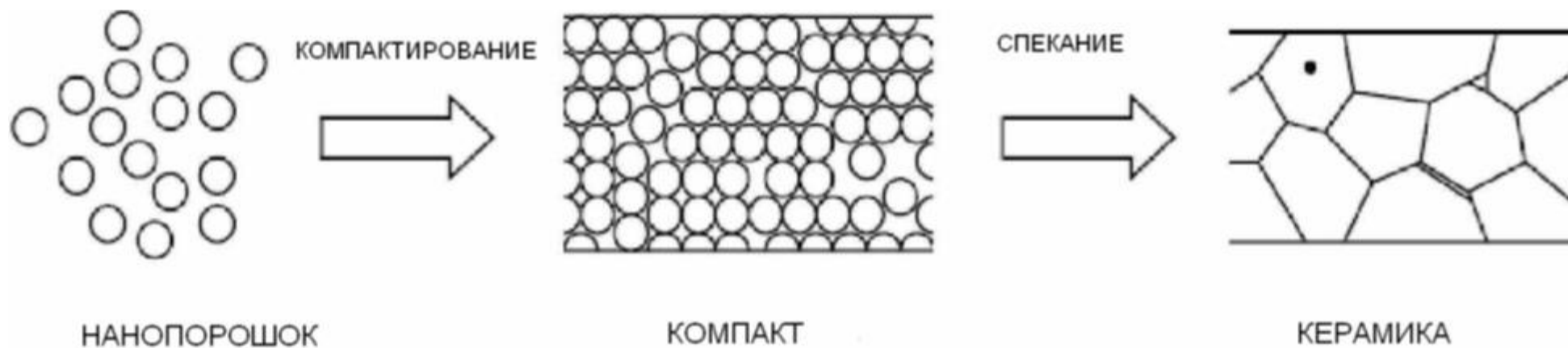
Цели и задачи

Целью данного исследования является идентификация зависимости энергии Урбаха от температуры для нанокерамик, допированных редкоземельными металлами.

Задачи:

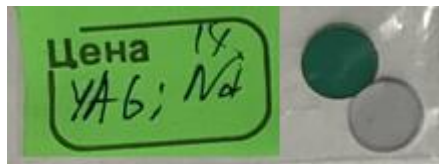
1. Спроектировать и изготовить приставки для двухлучевого спектрофотометра
2. Провести измерения спектров поглощения данных керамик
3. Из экспериментальных данных получить энергию Урбаха и оценить температурную зависимость ширины запрещенной зоны
4. Объяснить температурную зависимость энергии Урбаха от температуры.

Синтез образцов оптической керамики

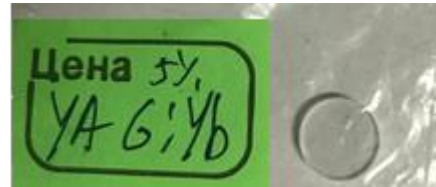


Образцы керамики

1at%Nd:YAG,
1301, ФИРЭ



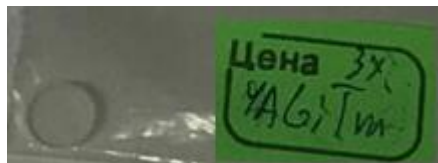
3at%Yb:YAG,
1470, ФИРЭ



0.5at%Er:YAG,
1339, ФИРЭ



3at%Tm:YAG,
1340, ФИРЭ



0.5at%Ho:YAG,
1338, ФИРЭ



0.1at%Cr:YAG,
1311, ФИРЭ



Оборудование

Agilent Cary 300



Двухлучевой уф-Вид спектрометр Agilent Cary 300 с рабочим диапазоном более 6,0 ед. погл. и разрешением менее 0,24 нм

Linkam THMS 600



Температурный диапазон от -196 до 600 °С
Скорость нагрева до 130 °С/мин
Стабильность температуры < 0.1 °С
Герметичная камера для образца
Световая апертура 2.4 мм

Спроектированная и изготовленная приставка для спектрофотометра



Метод Таука

В исследуемых керамиках в соответствии с теорией Таука ширина запрещенной зоны определяется следующий выражением:

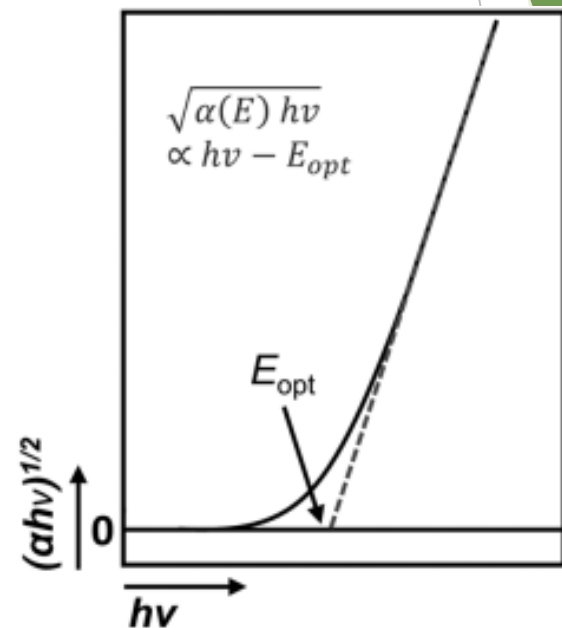
$$\alpha = \frac{\beta}{h\nu} (h\nu - E_g)^{1/2}, \quad (1)$$

где β - константа, называемая параметром затухания, независимая от энергии,

E_g - ширина запрещенной зоны,

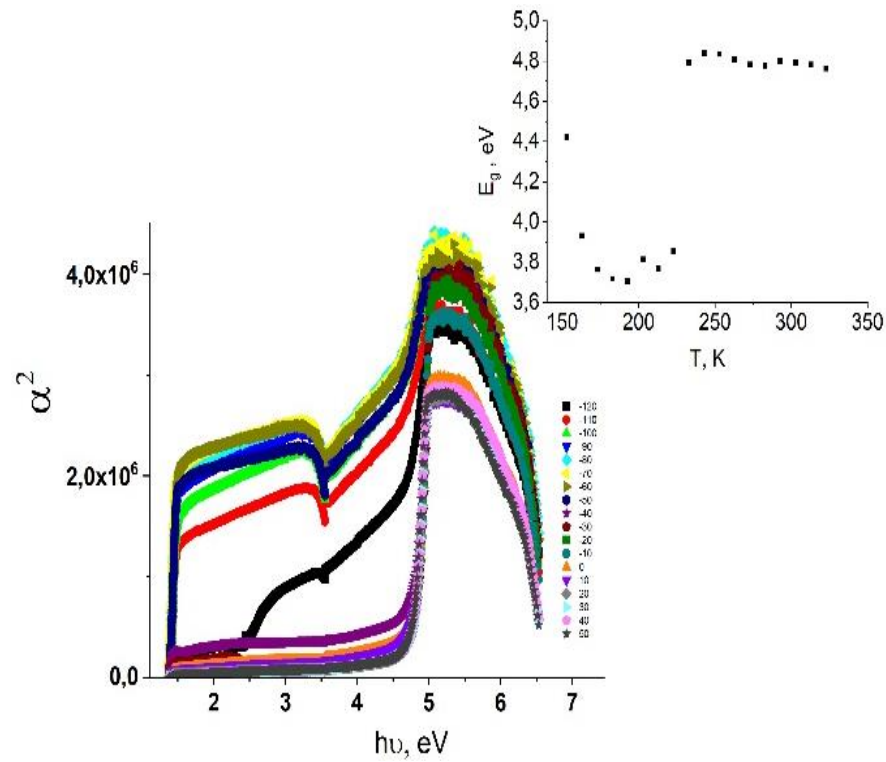
$h\nu$ - энергия фотона.

Используя данную формулу были получены графики $\alpha^2 \sim h\nu$, из которых определялась ширина запрещенной зоны E_g и её зависимость от температуры для керамик.

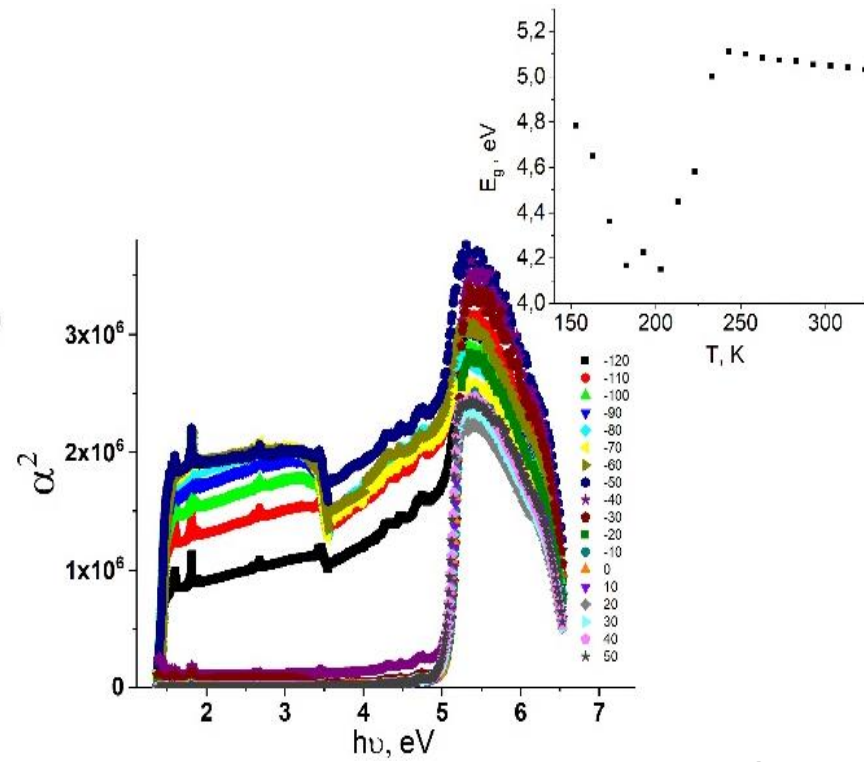


Ширина запрещенной зоны

0.5at%Er: YAG



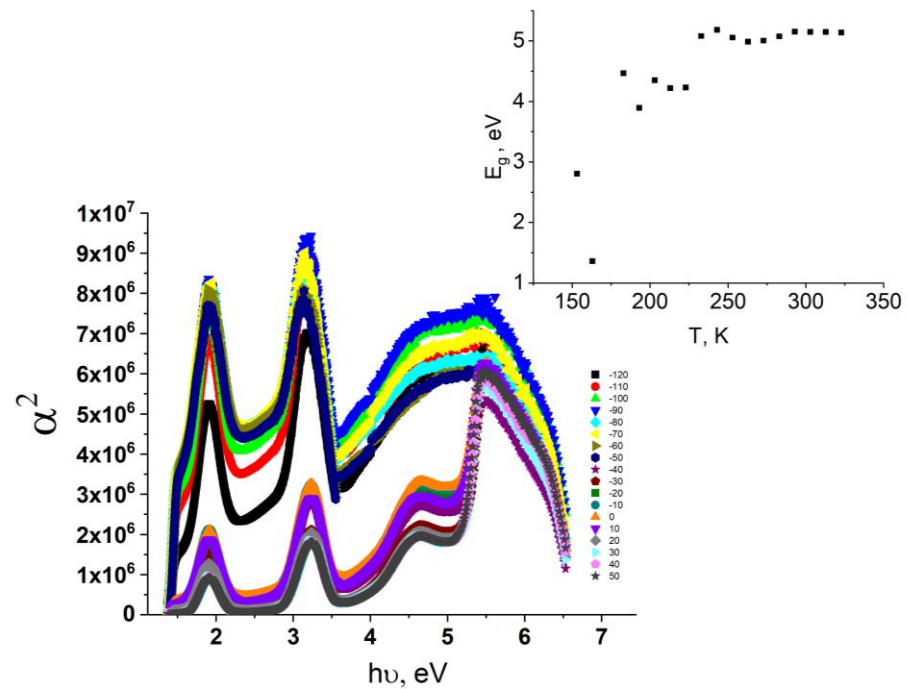
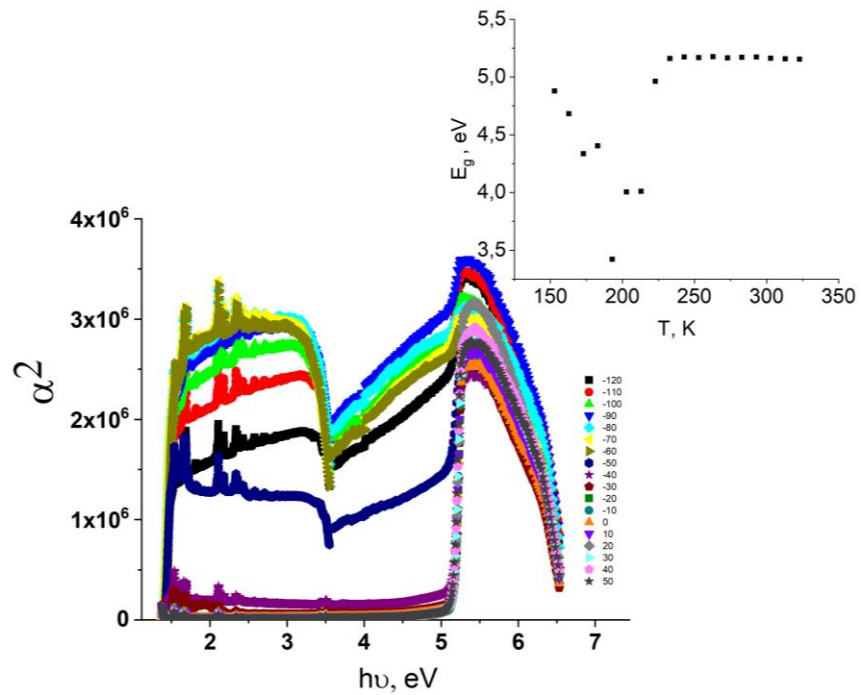
3at%Tm: YAG



Ширина запрещенной зоны

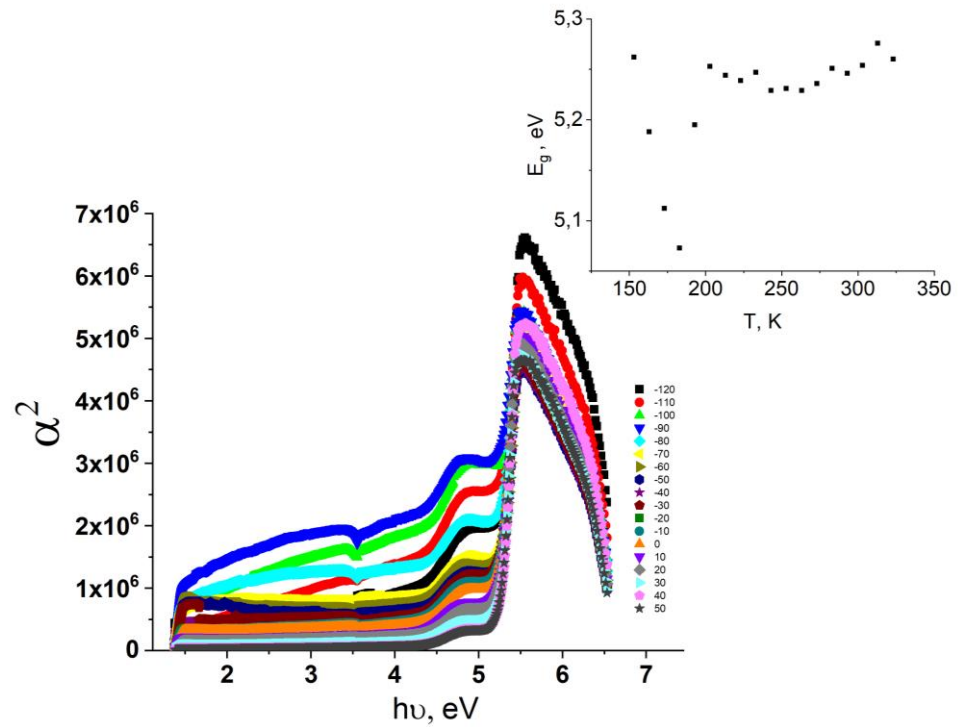
1at%Nd:YAG

1at%Nd:YAG с большим
количеством кислородных
вакансий

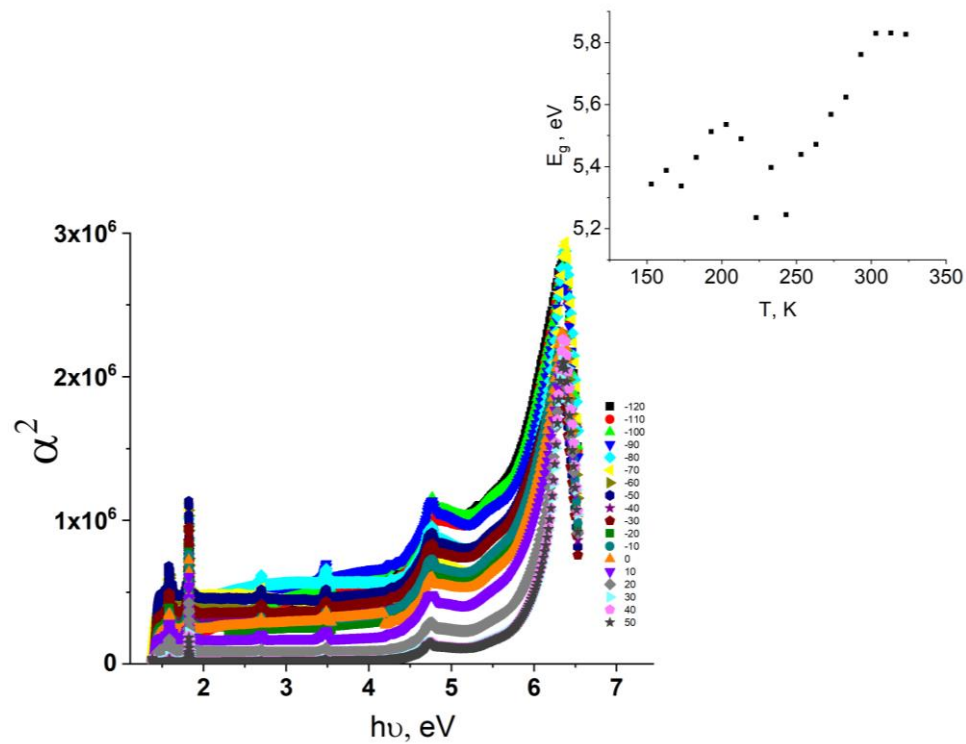


Ширина запрещенной зоны

3at%Yb:YAG

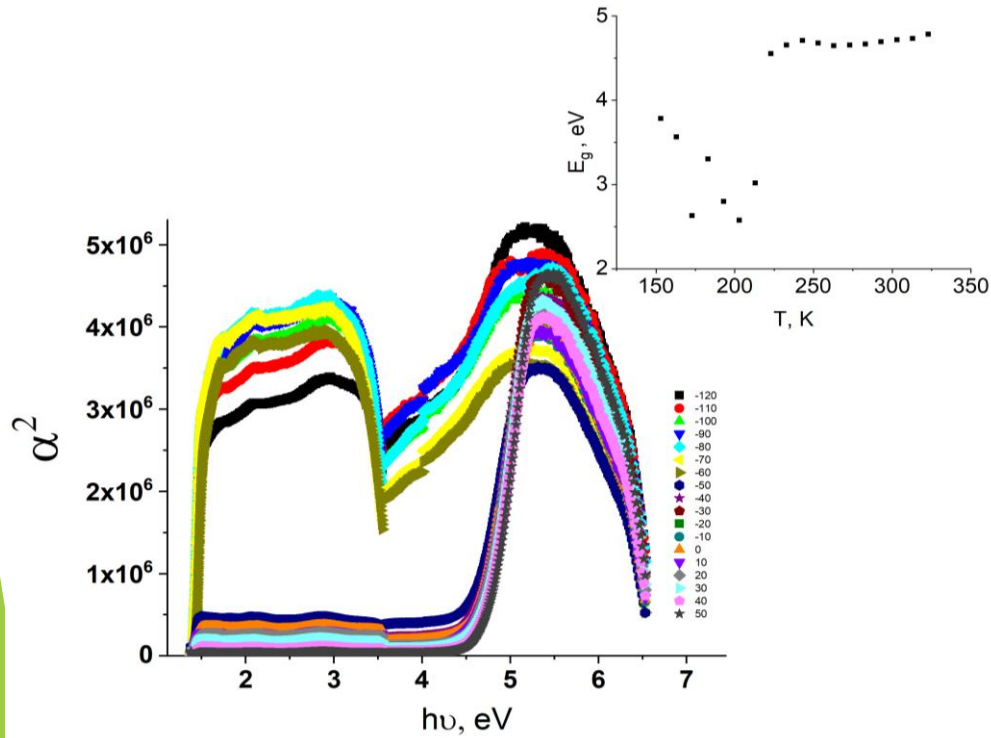


0.5at%Ho:YAG

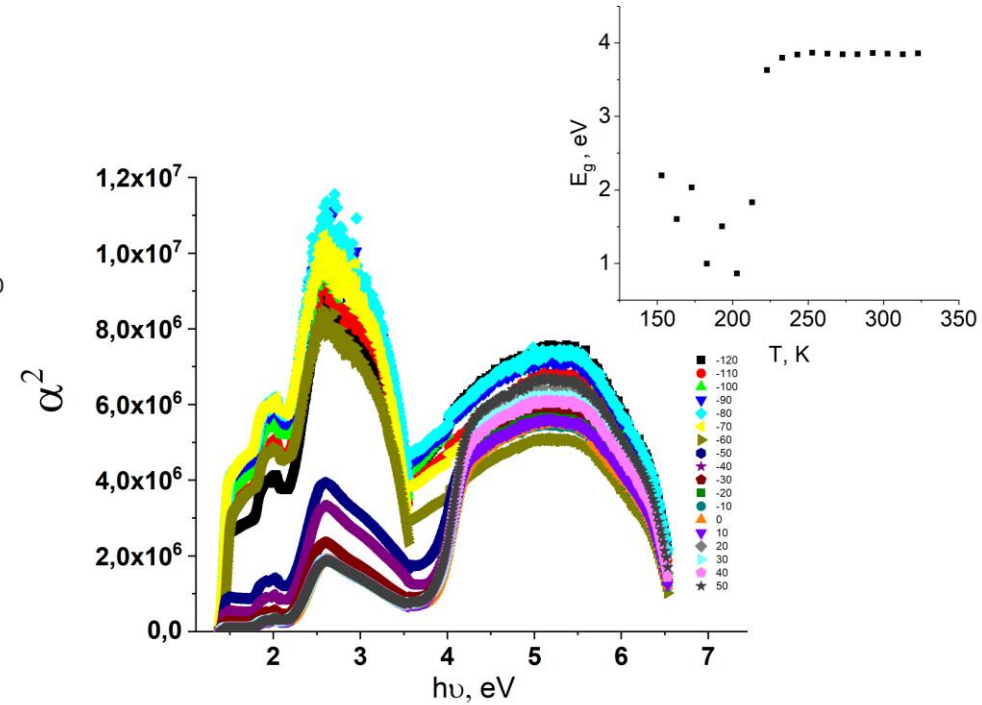


Ширина запрещенной зоны

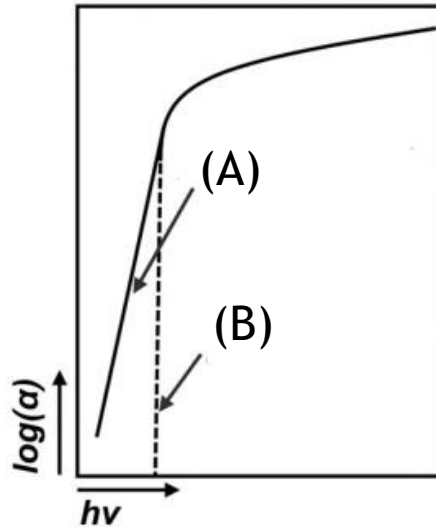
0.1at%Cr:YAG



0.1at%Cr:YAG с большим
количеством кислородных
вакансий

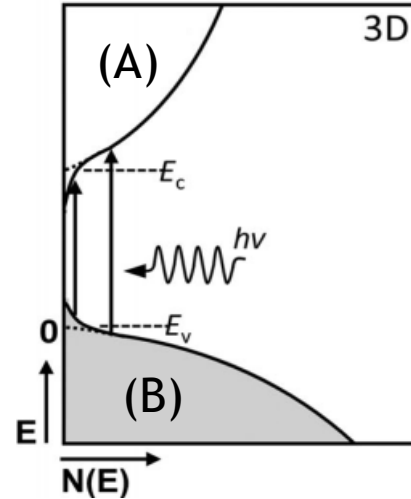


Энергия Урбаха



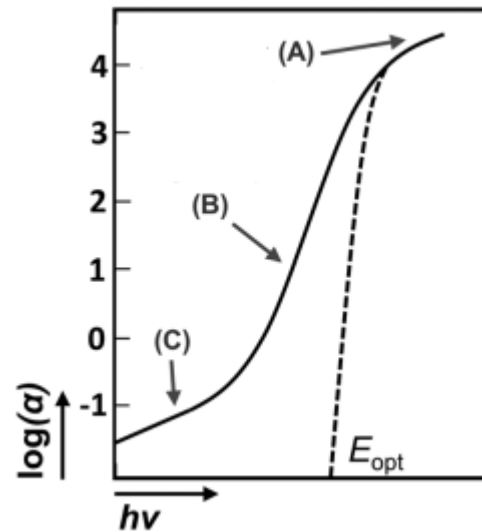
(A) - хвост Урбаха

(B) - идеальный кристаллический полупроводник



(A) - зона проводимости

(B) - валентная зона



(A) - область высокого поглощения

(B) - хвост Урбаха

(C) - область слабого поглощения

Энергия Урбаха

Энергию Урбаха можно найти из спектра оптического поглощения материала в соответствии с формулой 2:

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_U}\right), \quad (2)$$

где α_0 - константа,

E_U - энергия Урбаха.

Энергия Урбаха может быть найдена обратным логарифмическим соотношением наклона:

$$E_U = \frac{kT}{\sigma(T)} \quad (3)$$

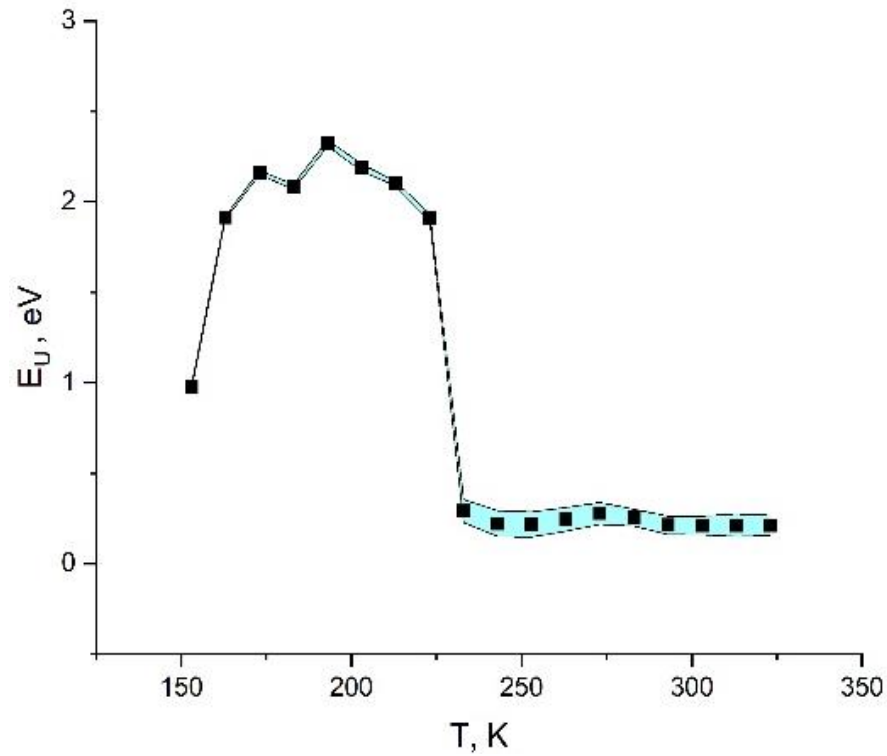
Где $\sigma(T)$ - параметр крутизны

$$\sigma(T) = \frac{2kT\sigma_0}{h\nu_p} \tanh\left(\frac{h\nu_p}{2kT}\right) \quad (4)$$

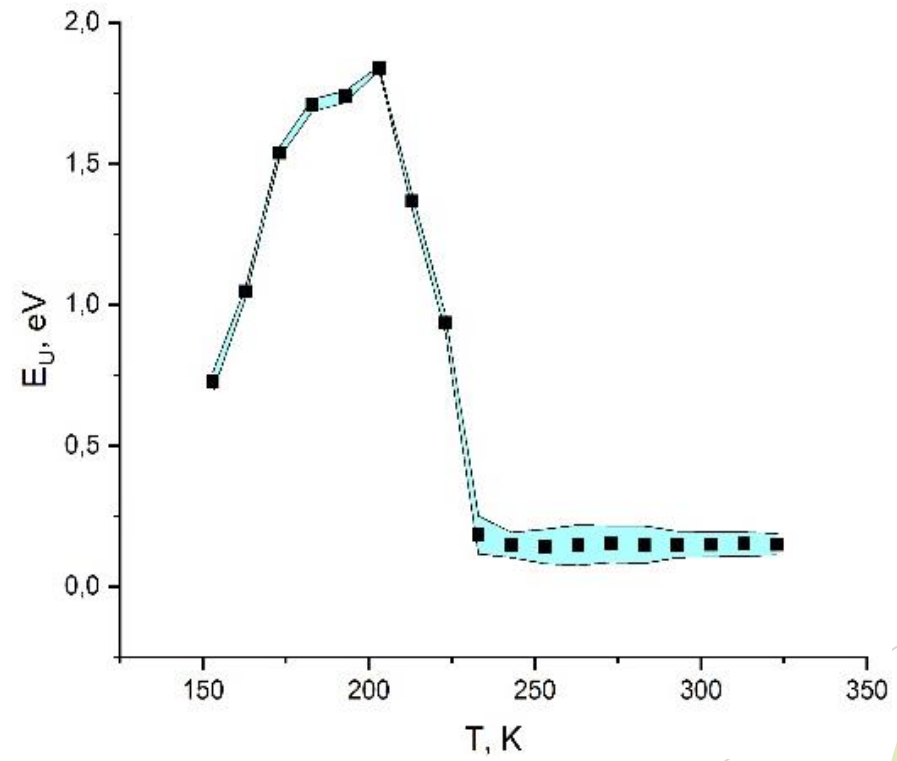
Где σ_0 - константа, не зависящая от температуры, но зависящая от материала. Для YAG это значение 0.56

Энергия Урбаха

0.5at%Er: YAG

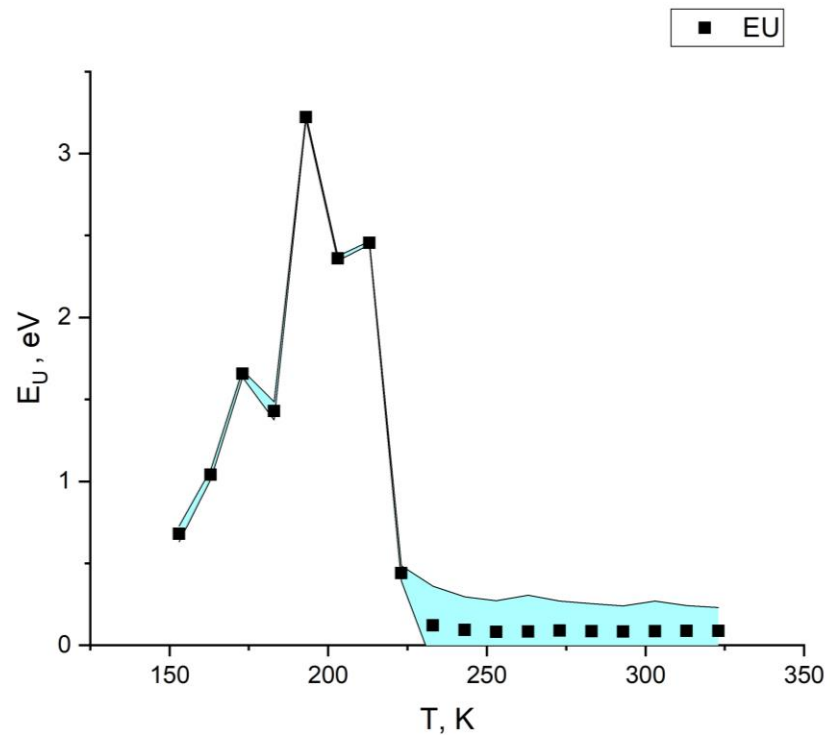


3at%Tm: YAG

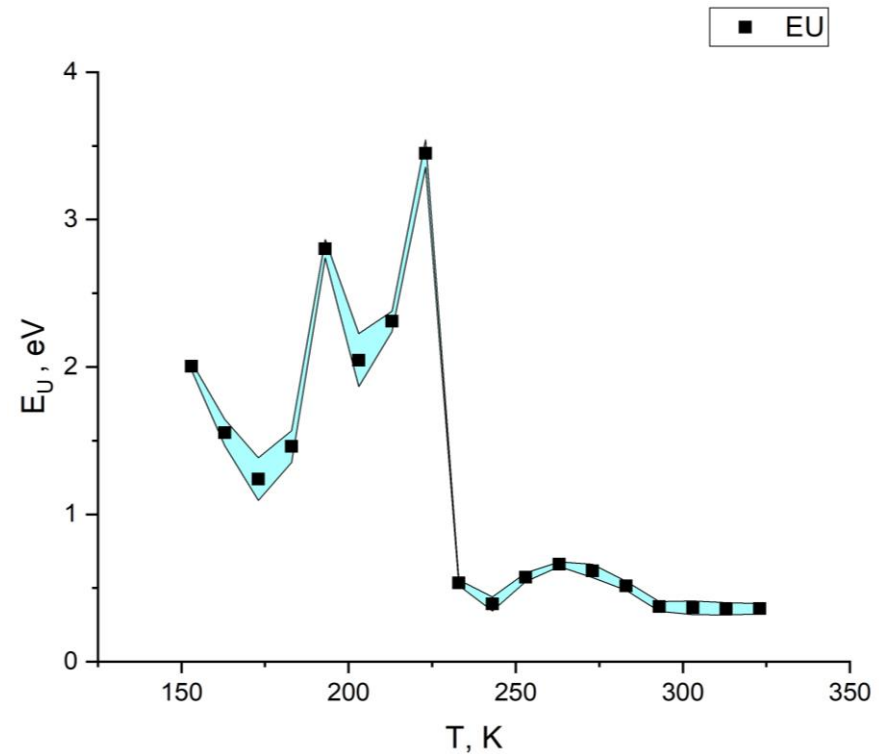


Энергия Урбаха

1at%Nd:YAG

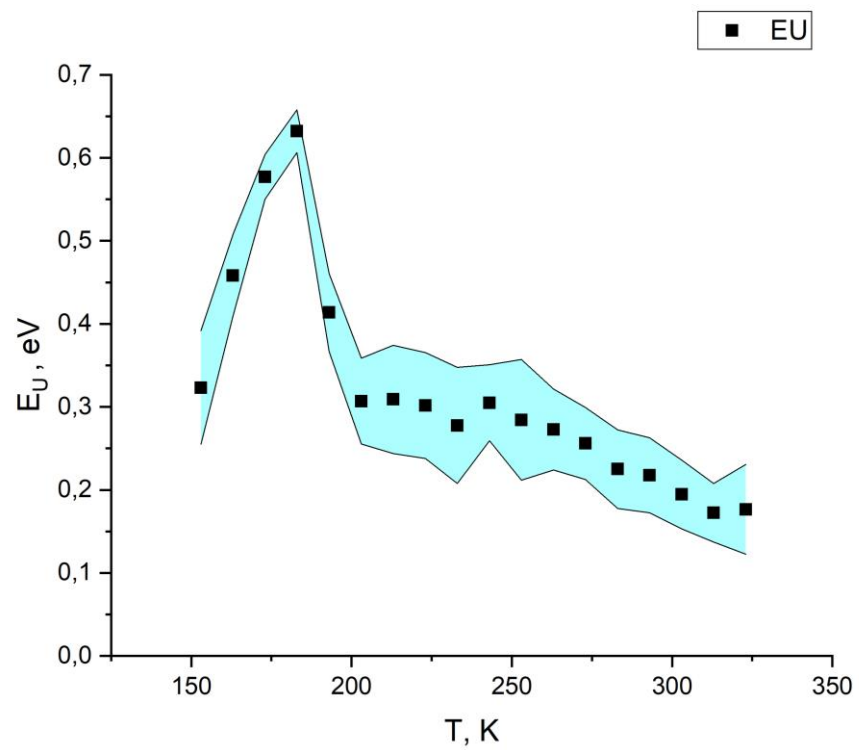


1at%Nd:YAG с большим количеством кислородных вакансий

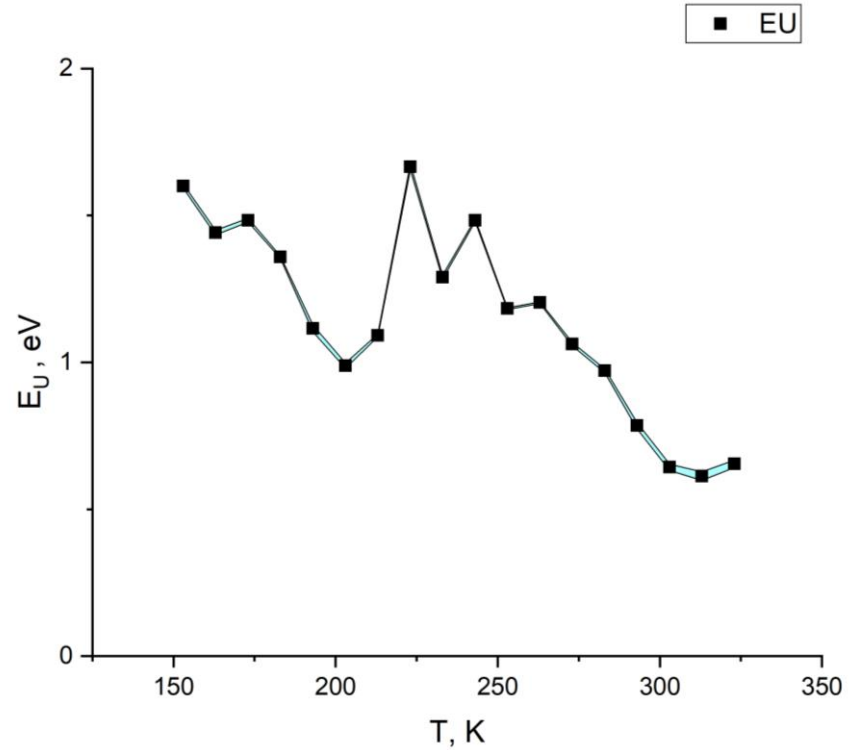


Энергия Урбаха

3at%Yb:YAG

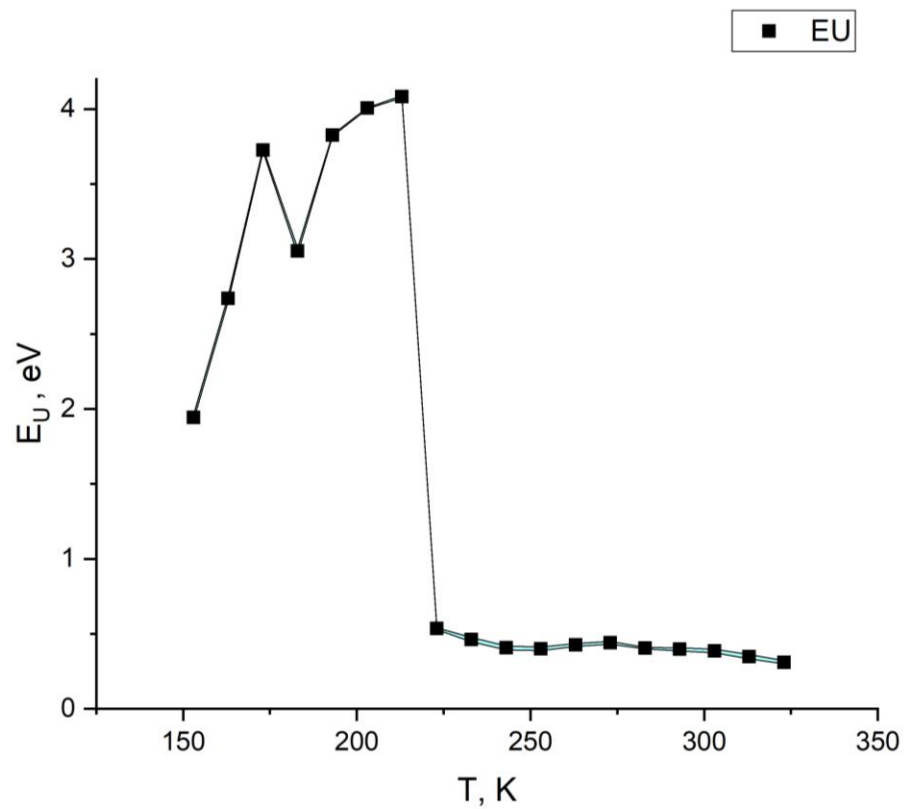


0.5at%Ho:YAG

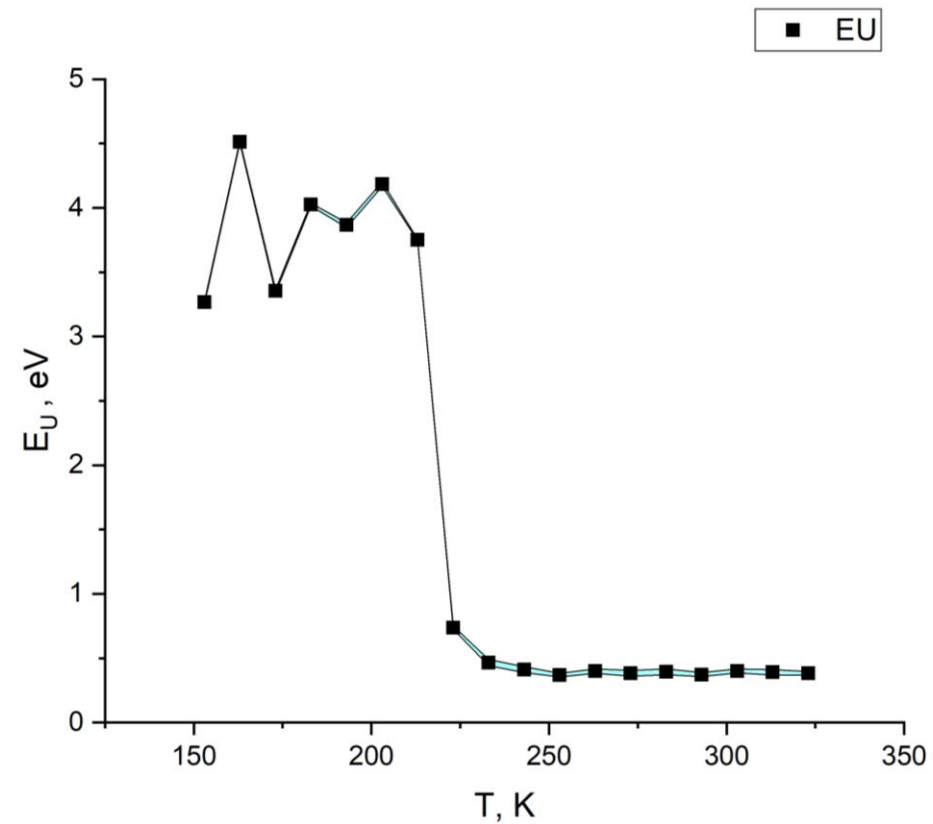


Энергия Урбаха

0.1at%Cr:YAG



0.1at%Cr:YAG с большим
количеством кислородных
вакансий



Выводы

1. В температурном диапазоне 150-230 К энергия Урбаха зависит от температуры, а следовательно, в данном материале имеется достаточно сильная энергия электрон-фононного взаимодействия, что может приводить к диссипации энергии, вызванной возбуждением колебаний решетки.

2. В температурном диапазоне 230-320 К такой зависимости не наблюдается и поэтому энергией электрон-фононного взаимодействия можно пренебрегать.

3. Ширина запрещенной зоны изменяется во всем температурном диапазоне и связана не только с допированием различных редкоземельных металлов, но и с наличием кислородных вакансий.

Дальнейшие исследования



Дальнейшие исследования



Благодарности

- ▶ Выражается благодарность Иванову Максиму Геннадьевичу за предоставленные для исследований образцы. Заведующему лабораторией нелинейной оптики Кундиковой Наталии Дмитриевне. И научному руководителю Подгорнову Федору Валерьевичу.