

Расчет порога оже-рекомбинации в узкозонных гетероструктурах на основе HgCdTe

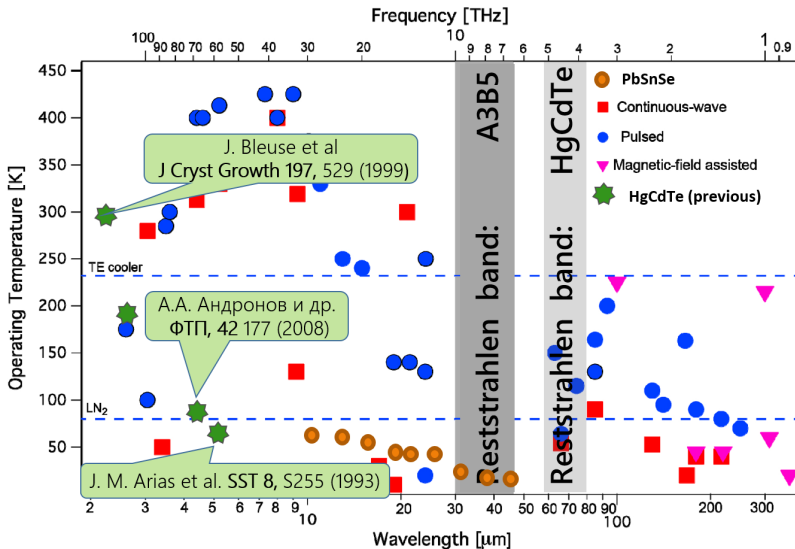
Выполнил: студент I-ого курса магистратуры ВШОПФ Куликов Н.С. ¹
Научные руководители: к.ф.-м.н. Морозов С.В.,
к.ф.-м.н. Жолудев М.С.

ИФМ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского



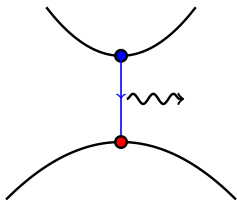
2019

Мотивация



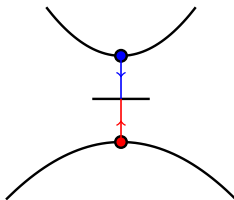
Типы рекомбинации

Излучательная



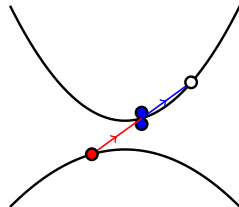
Целевой процесс.

Шокли-Рида-Холла



Подавлен в силу малой кон-ии примесей.

Оже



Не может быть подавлен технологическими приёмами.

Порог оже-процессов

Законы сохранения:

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 - \vec{k}_3 = \vec{k}_f;$$

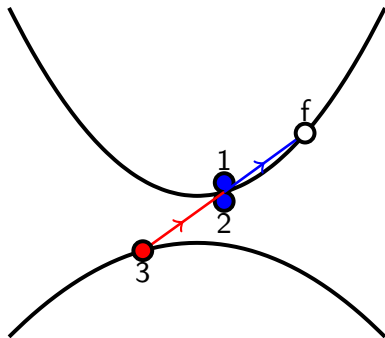
$$\varepsilon_1(\vec{k}_1) + \varepsilon_2(\vec{k}_2) - \varepsilon_3(\vec{k}_3) = \varepsilon_f(\vec{k}_f);$$



Наличие пороговой энергии ε_{th} ¹



Равенство групповых скоростей



¹ВН Абакумов, ВИ Перель и ИН Ясиевич. Безызлучательная рекомбинация в полупроводниках, Издательство ПИЯФ РАН, С. 1997

Порог оже-процессов

Законы сохранения:

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 - \vec{k}_3 = \vec{k}_f;$$

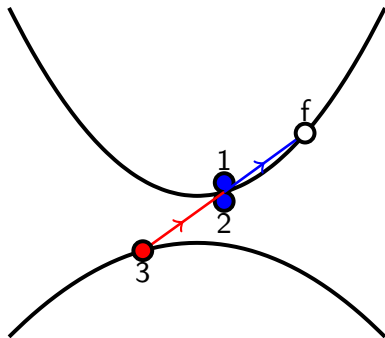
$$\varepsilon_1(\vec{k}_1) + \varepsilon_2(\vec{k}_2) - \varepsilon_3(\vec{k}_3) = \varepsilon_f(\vec{k}_f);$$



Наличие пороговой энергии ε_{th} ¹



Равенство групповых скоростей



$$R_A \propto \exp\left(-\frac{\varepsilon_{th}}{T}\right); \quad \longrightarrow \quad T_{cr} \propto \varepsilon_{th};$$

¹ВН Абакумов, ВИ Перель и ИН Ясиевич. Безызлучательная рекомбинация в полупроводниках, Издательство ПИЯФ РАН, С. 1997

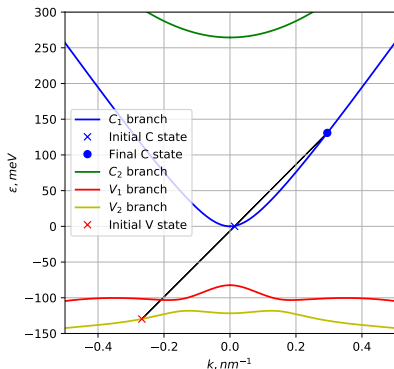
Как найти порог Оже-процессов?

- ▶ Дисперсионные соотношения в HgCdTe получаются в модели Кейна-Бёрта-Фореманна 8x8.

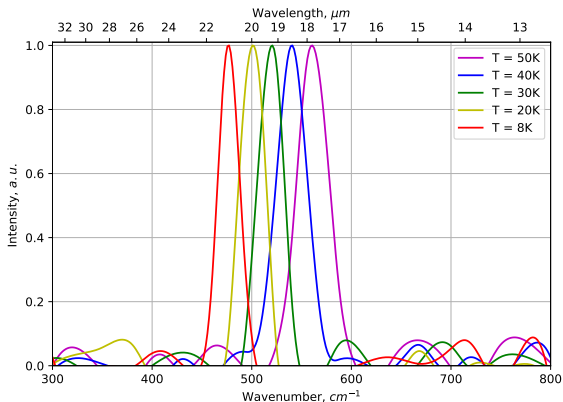
- ▶ Минимизация "кинетической" энергии:

$$K(\vec{k}_1, \vec{k}_2, \vec{k}_3) = \varepsilon_f(\vec{k}_1 + \vec{k}_2 - \vec{k}_3) - \beta \varepsilon_g;$$

- ▶ Возможные переходы с участием разных подзон.



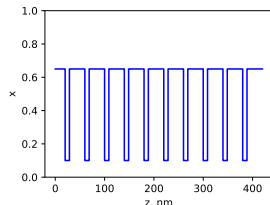
Пример: структура №170130



Спектр стимулированного излучения при разных температурах.

Свойства структуры:

Prop.	Val.	[U.]
(hkl)	(013)	
$QW \times$	10	
x_{QW}	10	%
d_{QW}	8.7	nm
x_{bar}	65	%
$\varepsilon_{g,50K}$	70	meV
$\varepsilon_{th,50K}$	15	meV
T_{cr}	50	K



Пример: структура №170130

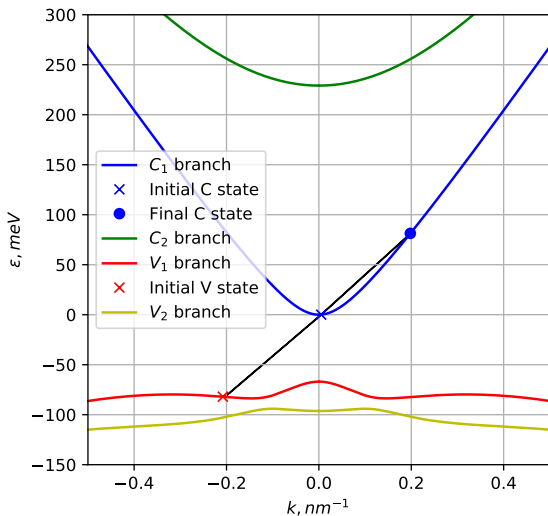
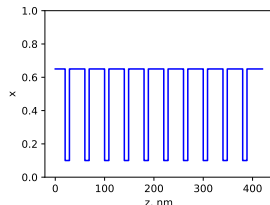


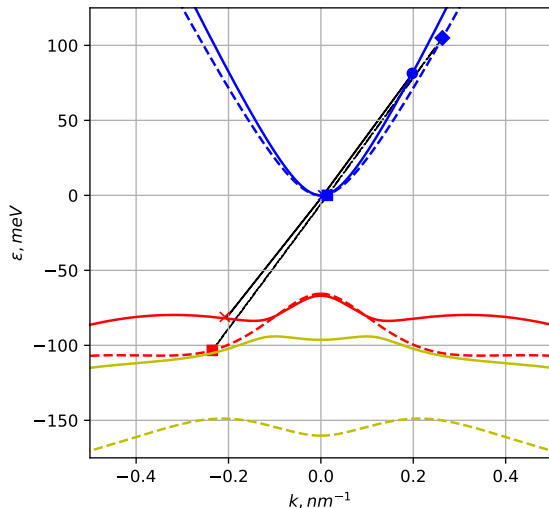
Диаграмма ССНС перехода, соответствующего ε_{th} .

Свойства структуры:

Prop.	Val.	[U.]
(hkl)	(013)	
QW	×	
x_{QW}	10	%
d_{QW}	8.7	nm
x_{bar}	65	%
$\varepsilon_{g,50K}$	70	meV
$\varepsilon_{th,50K}$	15	meV
T_{cr}	50	K



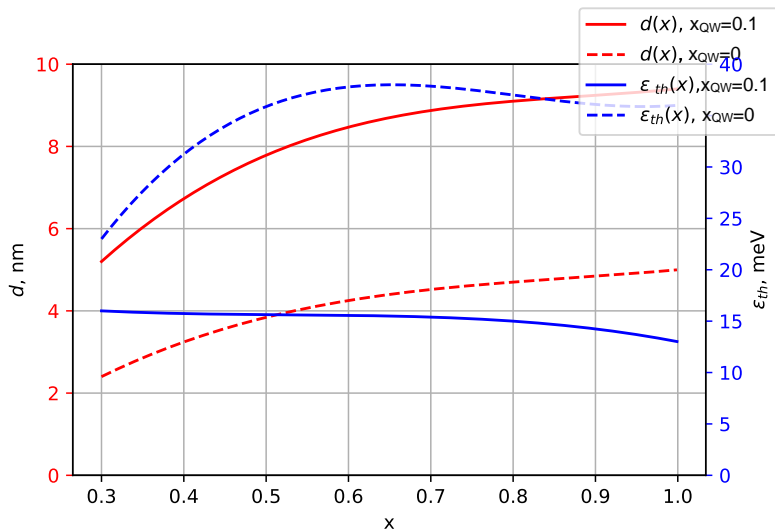
Повышение пороговой энергии: состав КЯ



Отсутствие боковых максимумов в структуре с $x_{QW} = 0$ приводит к повышению порога - следствие требования равенства групповых скоростей.

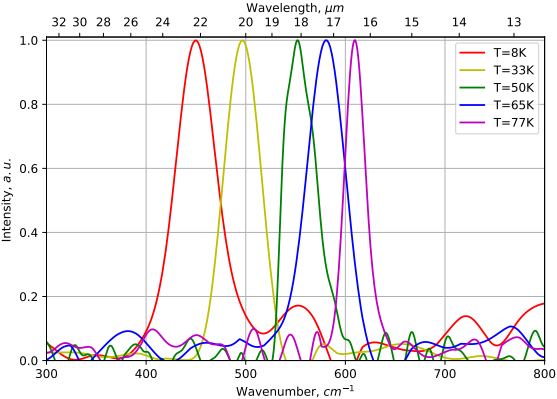
Сравнение пороговых оже-процессов структуры №170130 и альтернативной с "чистыми" квантовыми ямами $x_{QW} = 0$.

Повышение пороговой энергии: состав барьеров



Зависимость пороговой энергии оже-процессов и требуемой толщины КЯ при $\varepsilon_g \approx 70 \text{ meV}$ и $T = 40 \text{ K}$.

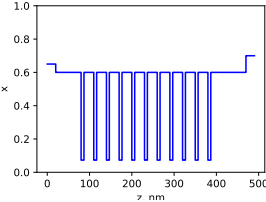
Пример: структура №190225



Спектр стимулированного излучения при разных температурах.

Свойства структуры:

Prop.	Val.	[U.]
(hkl)	(013)	
QW ×	11	
x_{QW}	7.3	%
d_{QW}	6.8	nm
x_{bar}	60	%
x_{buf}	65	%
$\varepsilon_{g,77K}$	76	meV
$\varepsilon_{th,77K}$	23.5	meV
T_{cr}	77	K



Пример: структура №190225

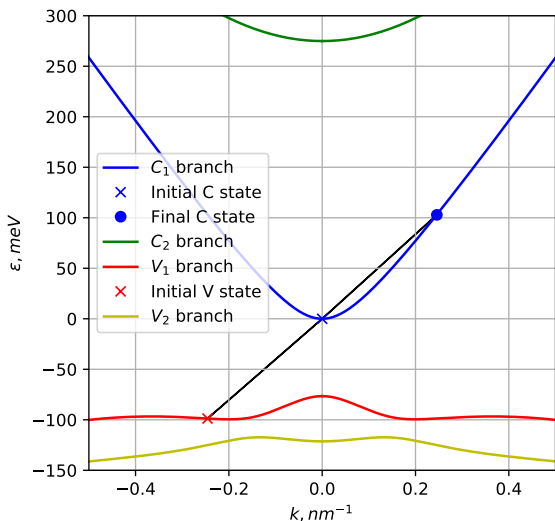
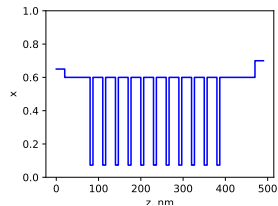


Диаграмма ССНС перехода, соответствующего ε_{th} пороговой энергии.

Свойства структуры:

Prop.	Val.	[U.]
(hkl)	(013)	
QW	11	
x_{QW}	7.3	%
d_{QW}	6.8	nm
x_{bar}	60	%
x_{buf}	65	%
$\varepsilon_{g,77K}$	76	meV
$\varepsilon_{th,77K}$	23.5	meV
T_{cr}	77	K



Итоги:

- ▶ Проведены расчёты пороговой энергии оже-процессов для гетероструктур с квантовыми ямами $\text{HgCdTe}/\text{CdHgTe}$.
- ▶ Продемонстрирована возможность повышения критической температуры путём изменения дисперсионных соотношений.
- ▶ Получено стимулированное излучение на длине волны $\lambda = 16 \text{ } \mu\text{m}$ при температуре кипения азота.

Спасибо за внимание!