

# Нитрид индия – новый материал для оптоэлектроники

Бушуйкин Павел

# Мотивация исследований

- Возрастающий интерес к нитридам III группы, которые за счет своей прямозонности и ширины запрещенной зоны способны эффективно работать в диапазоне от инфракрасной до ультрафиолетовой области. В частности нитрид индия, имея ширину запрещенной зоны 0.6 эВ, является перспективным для создания излучателя, работающего в телевизионных оптических линиях связи, а также инфракрасных детекторов и лазеров.
- На данный момент технология роста чистого нитрида индия находится в развитии. Самые хорошие образцы имеют концентрацию свободных носителей порядка  $10^{17}\text{см}^{-3}$  и являются вырожденными. Это создает проблему в изучении его фотоэлектрических свойств.
- Большинство данных об его оптических и фотовольтаических свойствах и теорий об структуре образцов противоречивы.

# Содержание

1. История получения нитрида индия
2. Кристаллическая структура InN
3. Подложки и буферы
4. Зонная структура
5. Спектры поглощения, ФЛ и ФП.

# 1. История получения

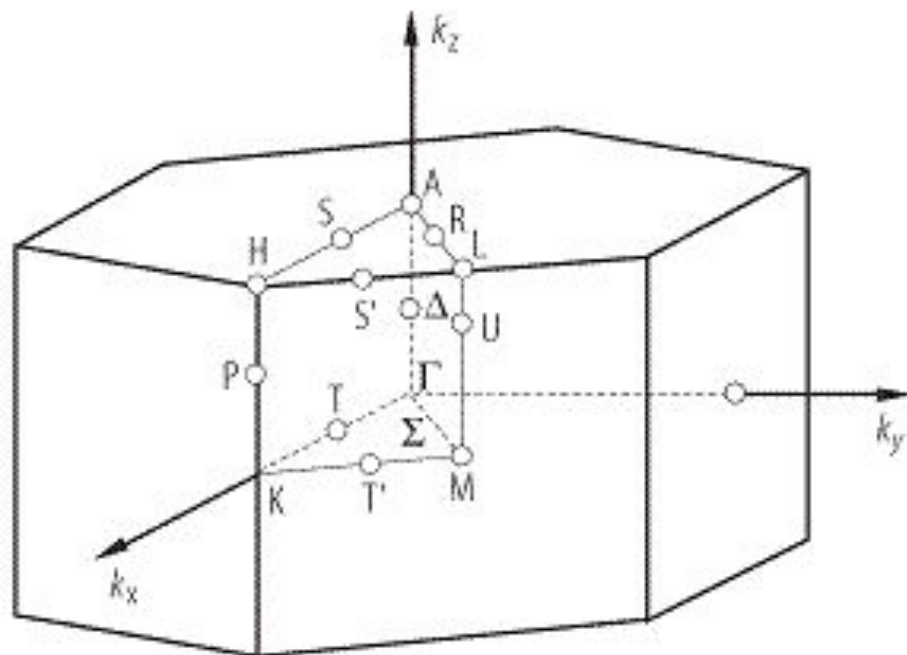
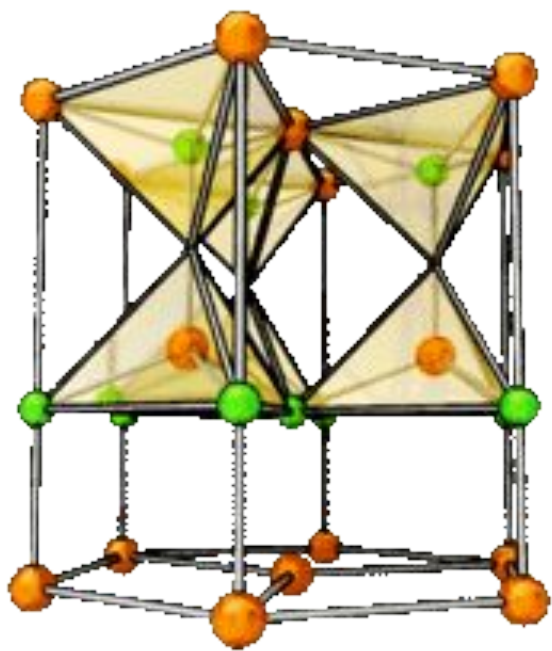
- Первая попытка синтеза InN: Juza и Hahn в 1938 году. Порошок InN из  $\text{InF}_6(\text{NH}_4)_3$
- Самый ранний успех в росте InN с хорошими электрическими свойствами: Novel и Suoto в 1972. Пленки поликристаллического n-InN на сапфировых подложках. Метод реактивного высокочастотного распыления. Концентрация свободных носителей  $(5-8) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  подвижность  $250 \pm 50 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .
- Трейнор и Роуз сообщили, что InN прямозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны 1,7 эВ.

# 1. История получения

- Рост толстых пленок InN с гораздо более низкой концентрацией свободных электронов ( $< 10^{18} \text{см}^{-3}$ ) и высокой подвижности электронов ( $> 2000 \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ) имеет важное значение для прогресса в понимании свойств этого материала. При комнатной температуре фундаментальная запрещенная зона этого типа высококачественного InN измерялась около 1,5 и 1,1 эВ, 0,9 эВ, 0,77 эВ, 0,7-1,0 эВ, 0,7 эВ и, наконец, измерения пришли к 0,64.
- Сейчас пленки InN более высокого качества выращиваются с помощью методов МВЕ и МОСVD.

## 2. Структура типа вюрцита

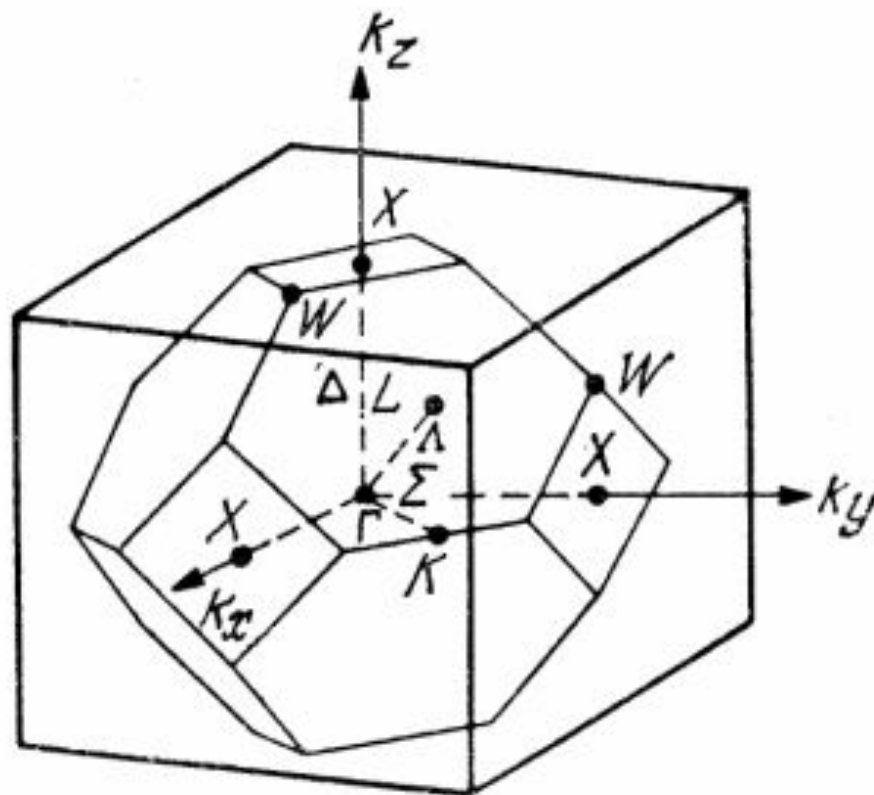
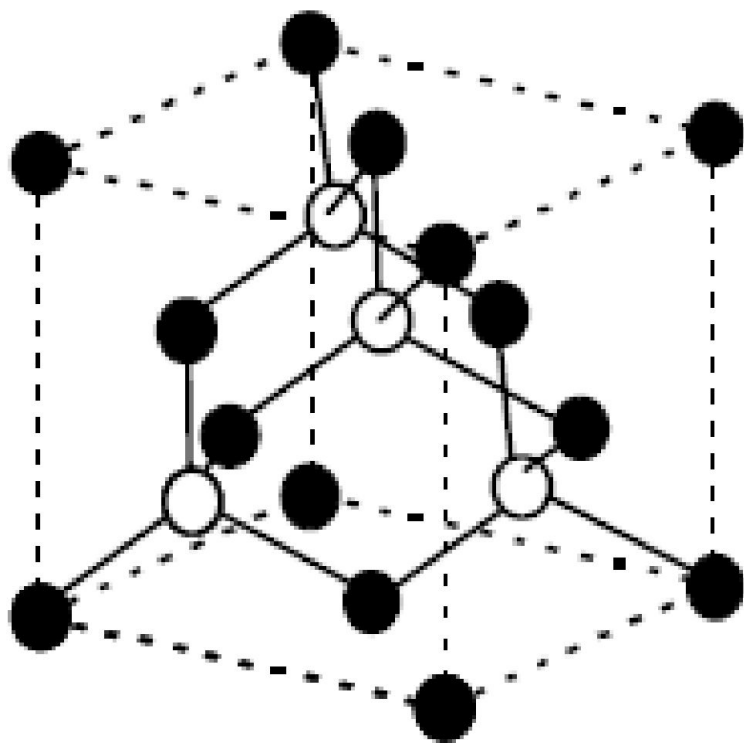
- В обычных условиях нитриды III группы кристаллизуются в термодинамически стабильной гексагональной фазе вюрцита.
- $a=0.3533$  нм;  $c=0.5693$  нм



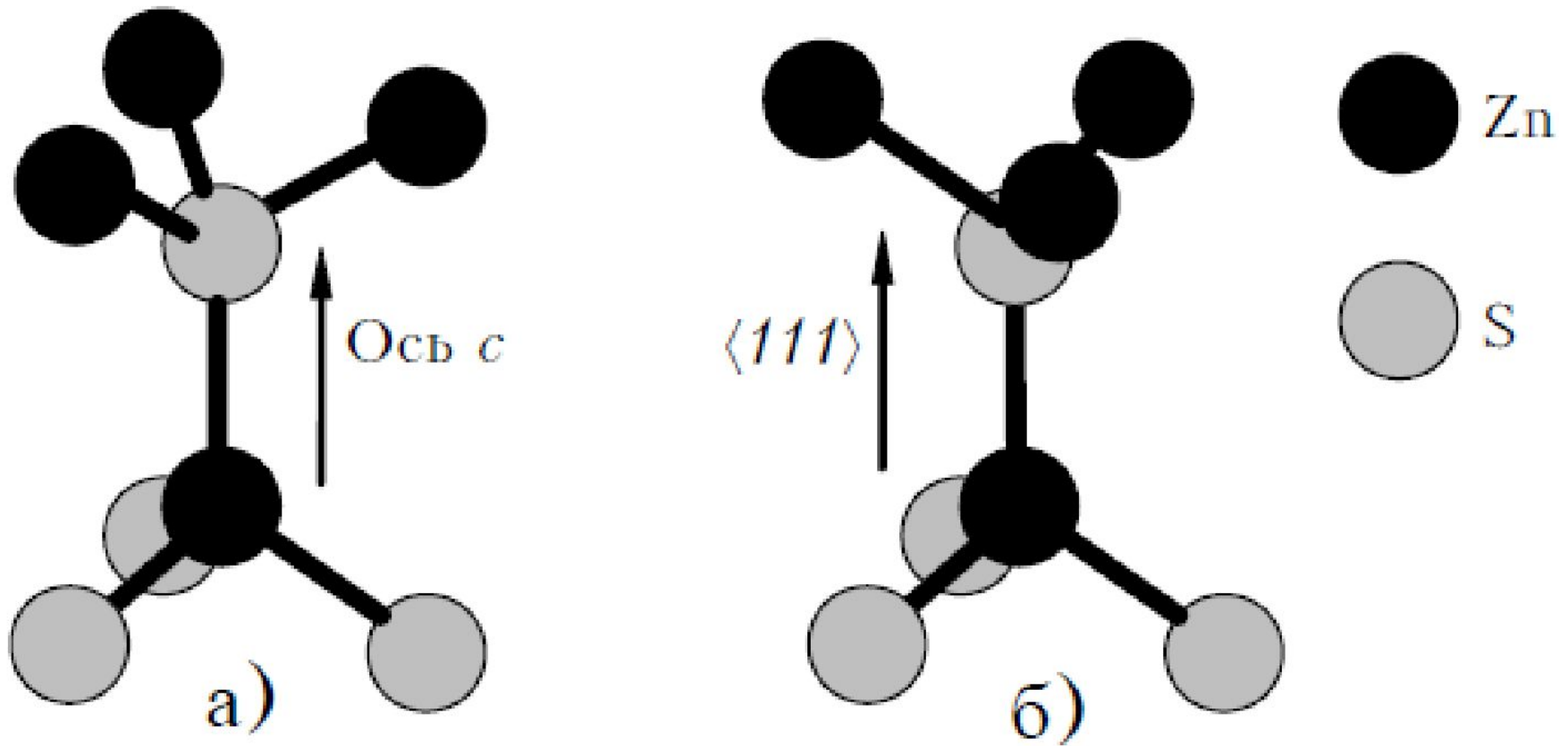
## 2. Структура типа цинковой обманки

Также сообщалось о выращивание InN с кубической структурой цинковой обманки методом МВЕ.

$a=0.498$  нм



# Сравнение вюрцита и сфалерита



Взаиморасположение атомов в вюрците (а) и цинковой обманке (б).



### 3. Подложки и буферы.

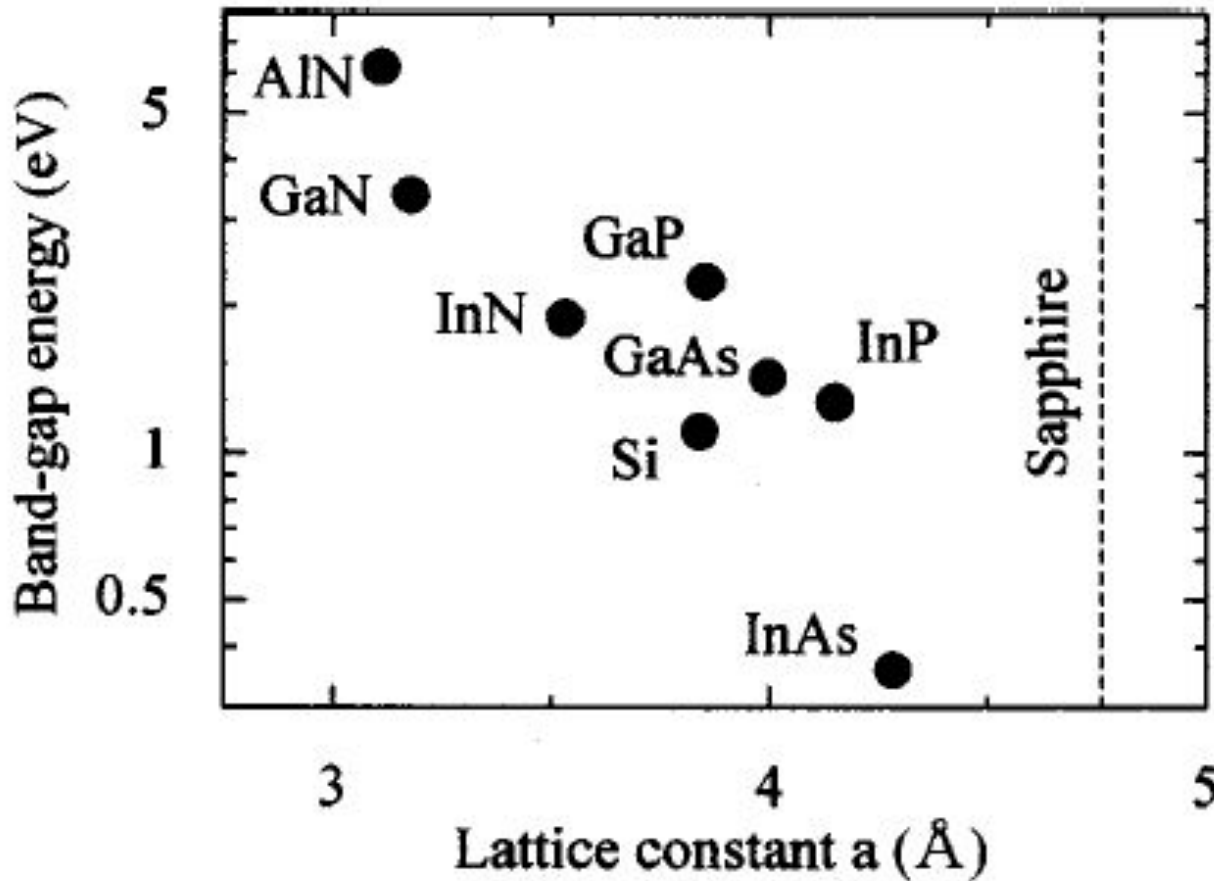


FIG. 12. Band gap and lattice constant in the hexagonal atomic space plane of InN and the materials which are widely used as a substrate or underlying layer for the epitaxial growth of InN.

## 4 Зонная структура

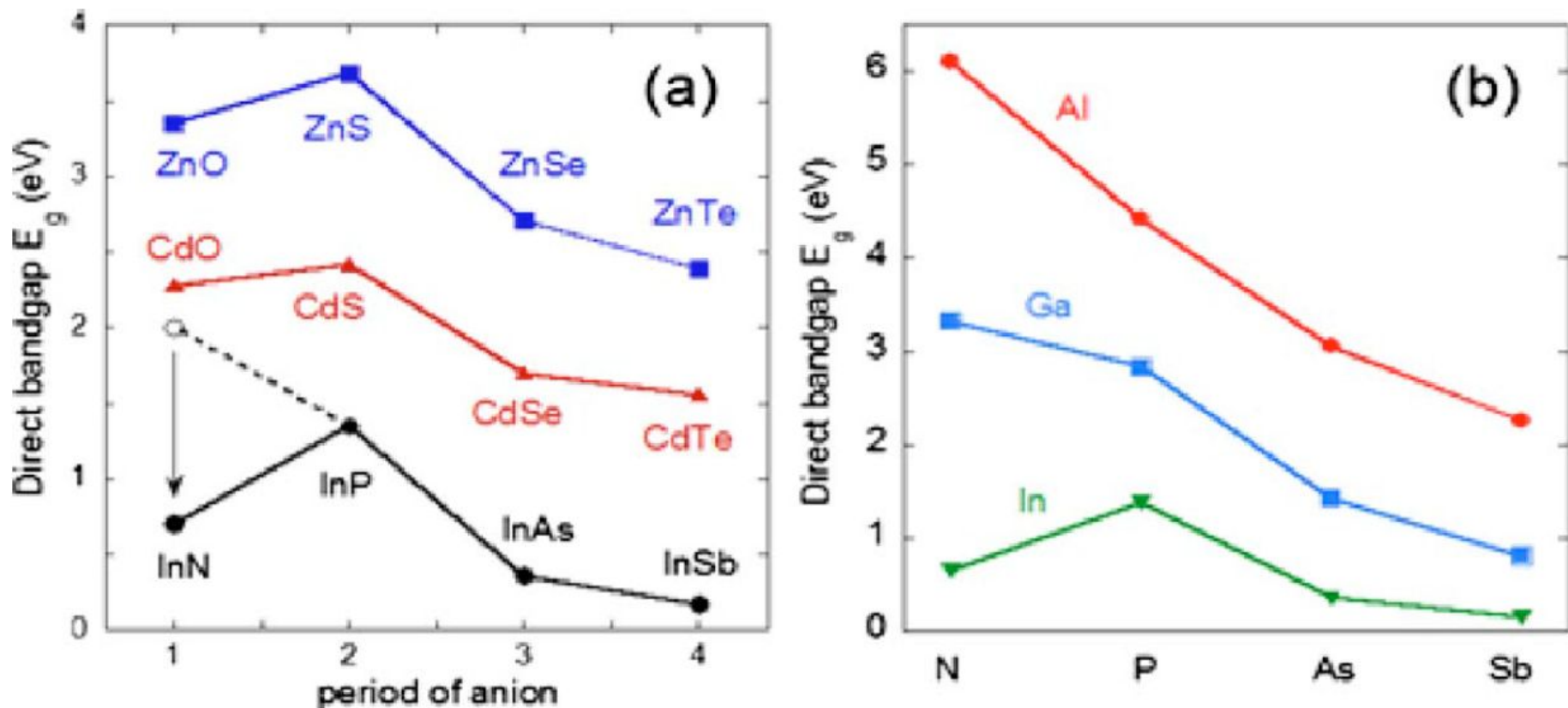
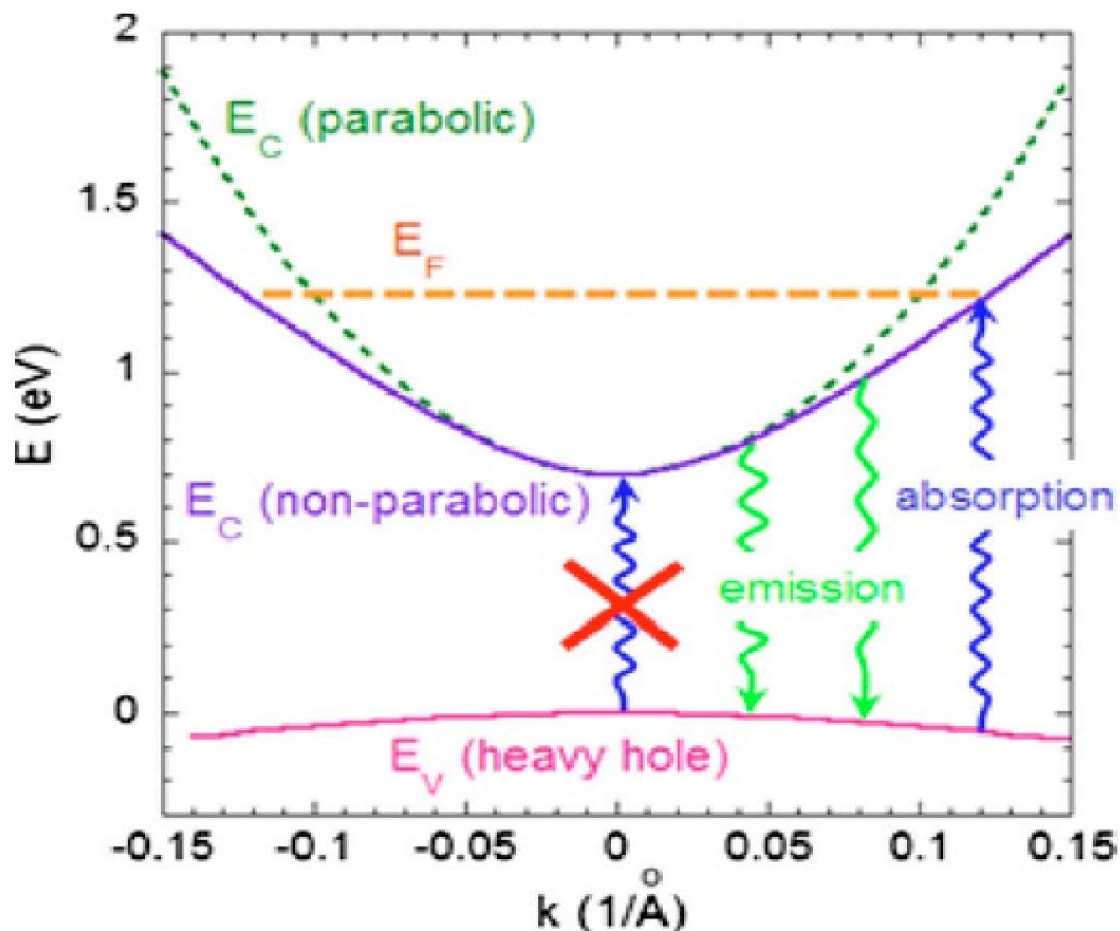


FIG. 10. (Color online) (a) The breakdown of the common-cation rule in Zn-VI, Cd-VI, and In-V semiconductors. (b) Trend of direct bandgaps in group III-V semiconductors.

## 4. Зонная структура

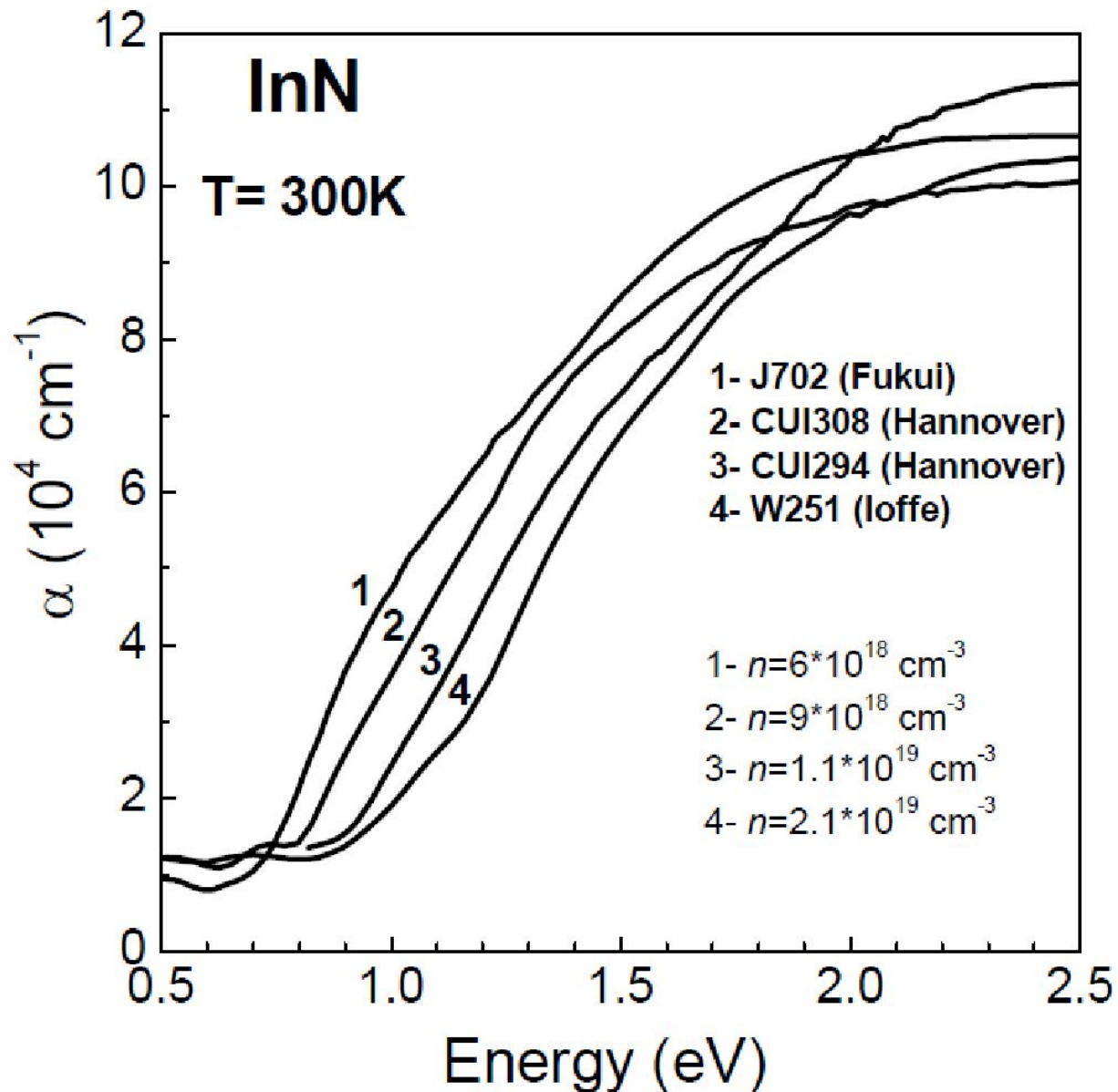
$$E_g(n) = E_g(n=0) - 20 \text{ мЭВ} \left[ \frac{n}{10^{18} \text{ см}^{-3}} \right]^{1/3}$$



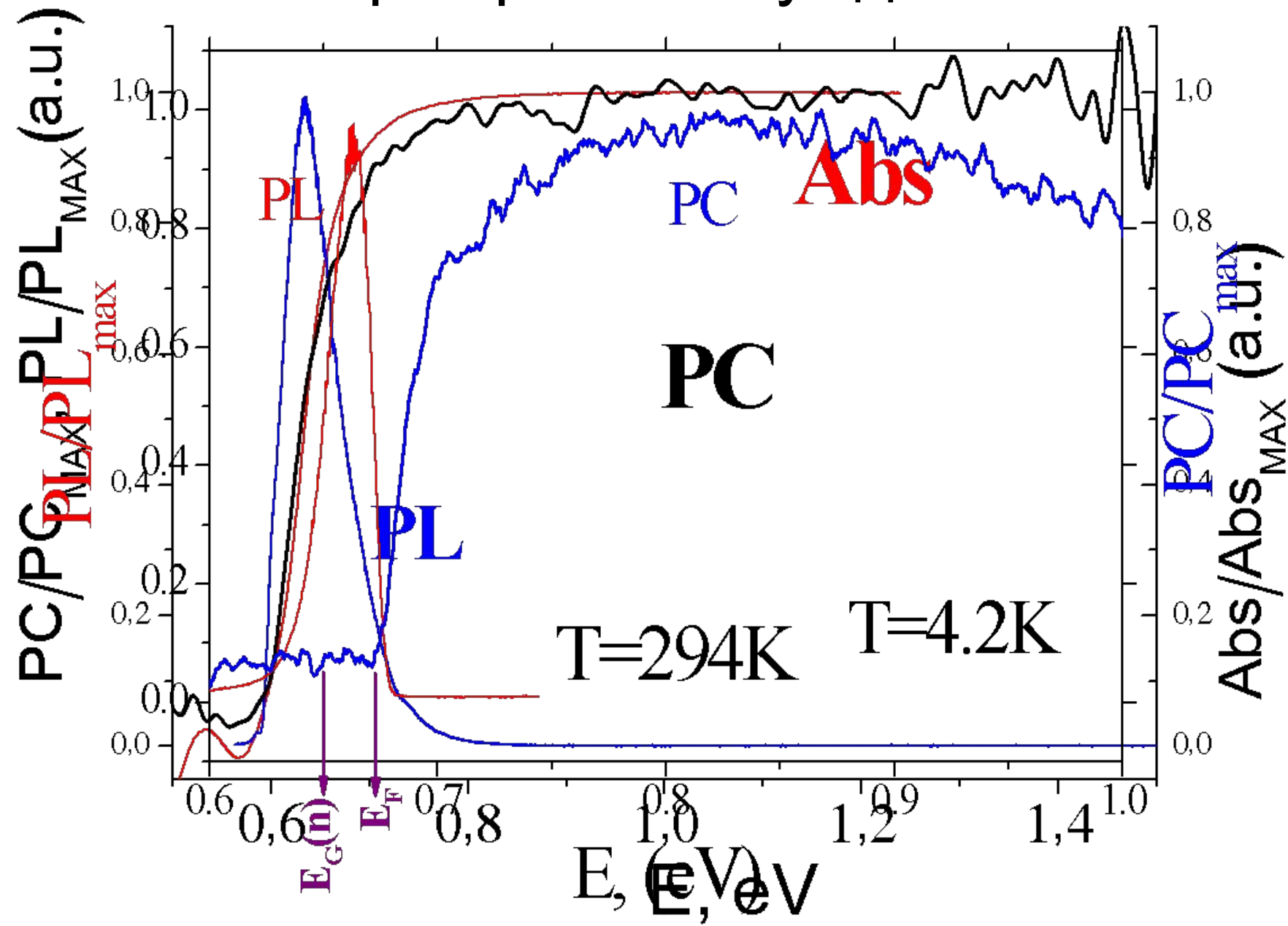
$$E_F = 3.58 \cdot \frac{m_e}{m_*} \left( \frac{n}{10^{18} \text{ см}^{-3}} \right)^{2/3}$$

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T}$$

## 5. Коэффициент поглощения



# 5. Спектры фотовозбуждения InN.



# Обработка спектров фотовозбуждения InN.

$$\alpha(E) = A(E - E_g(n))^{\gamma/2} \left( 1 - \left[ 1 + \exp\left( \frac{\frac{m_*}{m_n} (\hbar\omega - E_g(n)) - E_F}{T} \right) \right]^{-1} \right),$$

$$PL(E) = \frac{A^* (\hbar\omega - E_g(n))^{\gamma/2}}{1 + \exp\left( \frac{\frac{2m_*}{m_n} (\hbar\omega - E_g(n)) - E_F}{T} \right)}$$

$$PC = K(1 - e^{-\alpha(E)l}) \approx K\alpha(E)l, \\ \alpha(E)l \ll 1.$$

	T=4.2 K		T=294 K		
	ФЛ	ФП	ФЛ	ФП	Абсорб.
$E_G$ ( $n=7.3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ), (eV)	0.65(1)	0.64(1)	0.60(1)	0.602(3)	0.591(4)
$E_F$ , (eV)	0.022	0.039	0.024	0.18	Не опр.
$E_G$ ( $n=0$ )	0.67	0.66	0.62	0.62	0.61
$\gamma$	1.0(2)	1.0(1)	1.0(6)	1.0(1)	Не опр.



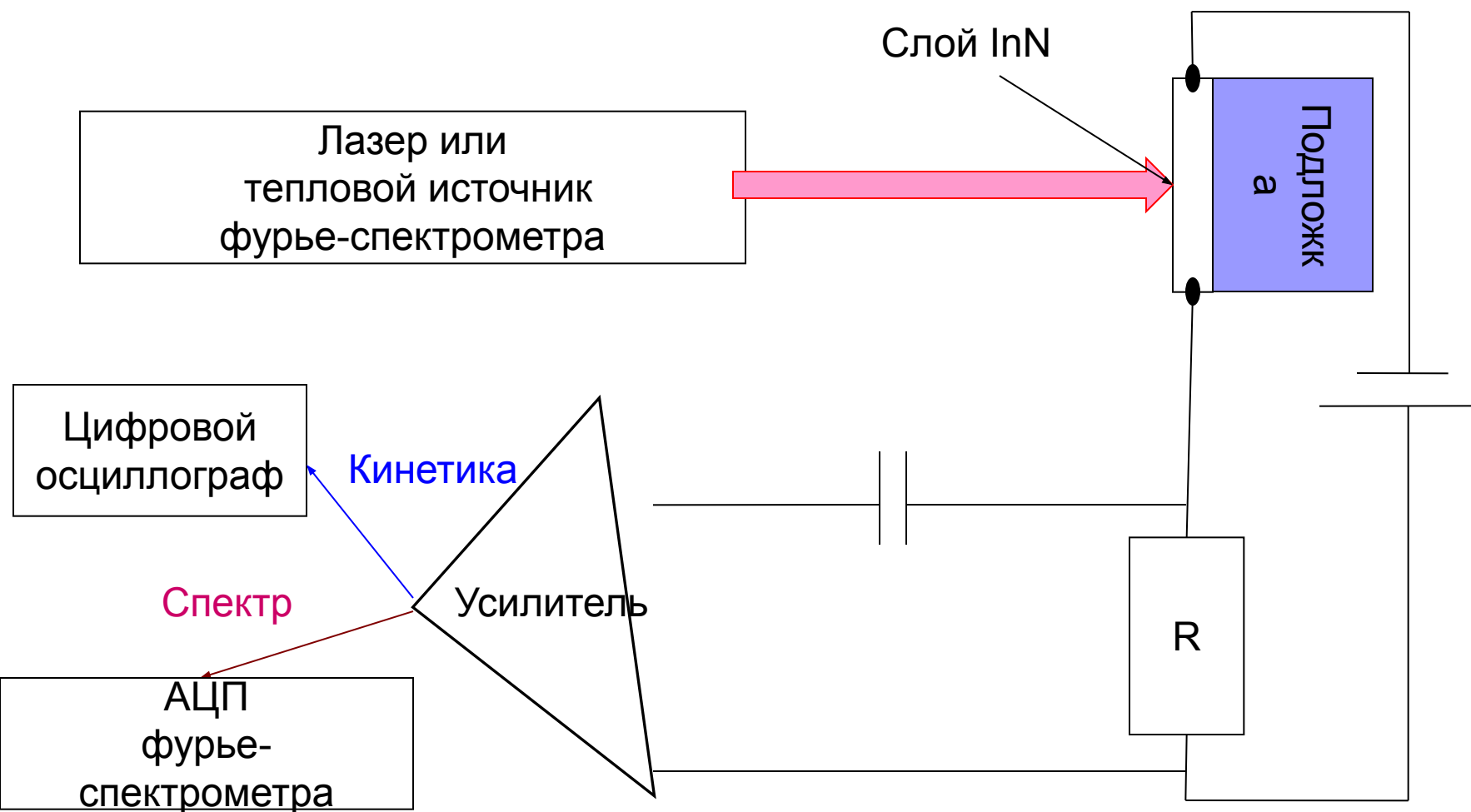
Спасибо за внимание.

# Список литературы

- Junqiao Wu. When group-III nitrides go infrared: New properties and perspectives. *J. Appl. Phys.* 106, 011101 (2009)
- Ashraful Ghani Bhuiyan, Akihiro Hashimoto, and Akio Yamamoto. Indium nitride (InN): A review on growth, characterization, and properties. *J. Appl. Phys.* 94, 2779 (2003)
- *В.Ю.Давыдов, А.А.Клочихин, ФТП* **38**, 897 (2004)

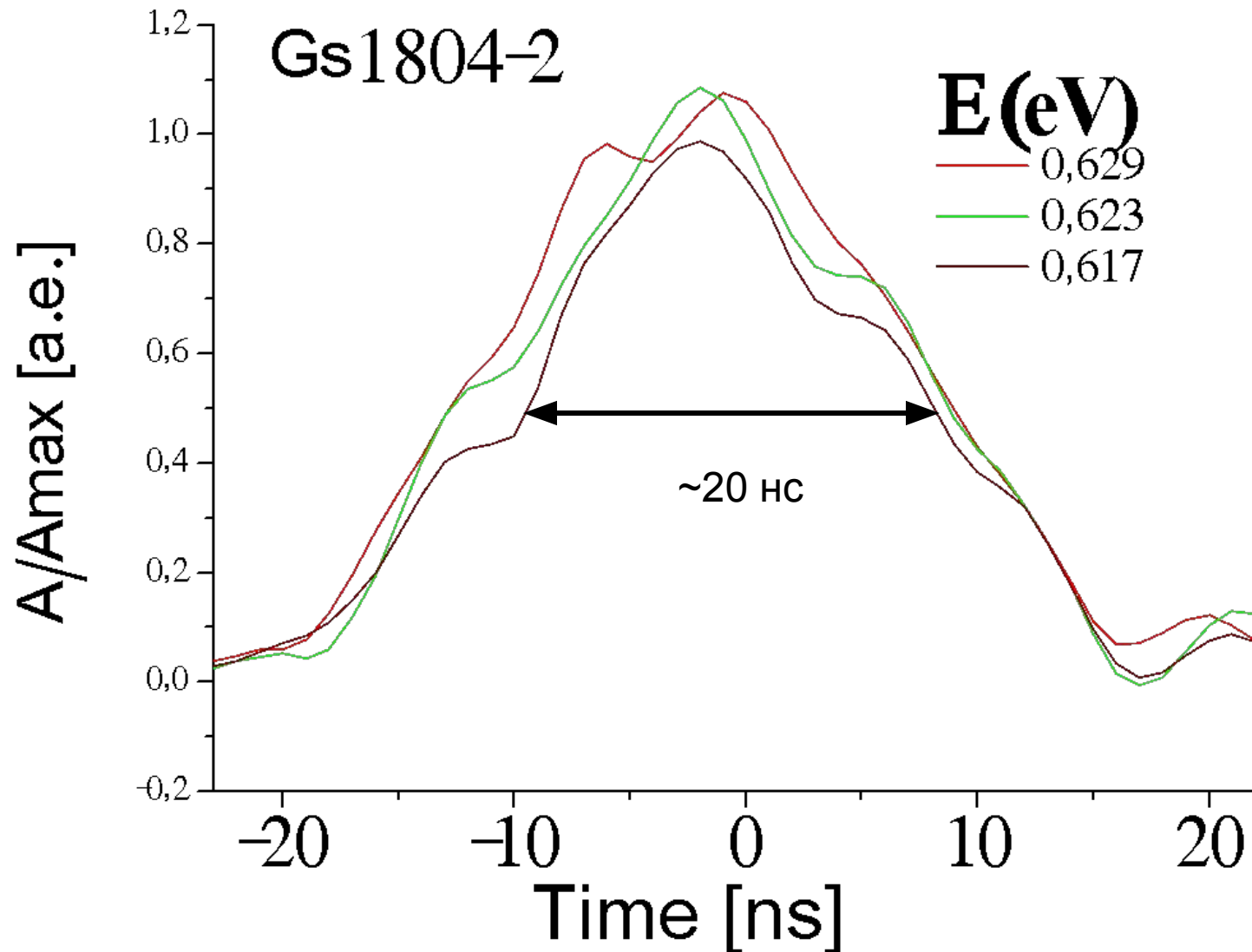


# Схема измерения спектров и кинетики фотопроводимости

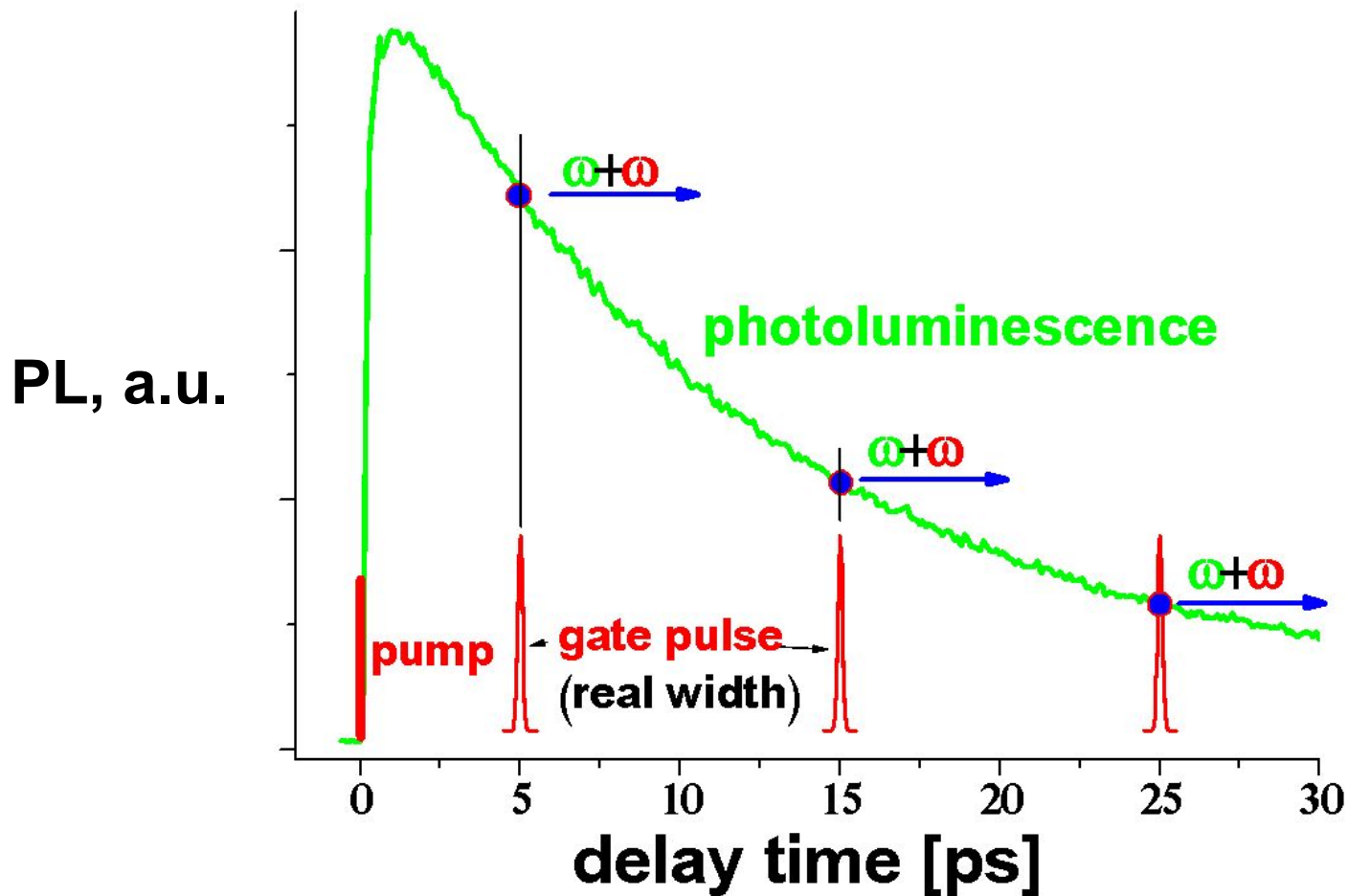


# Кинетика фотопроводимости InN

T=294 K

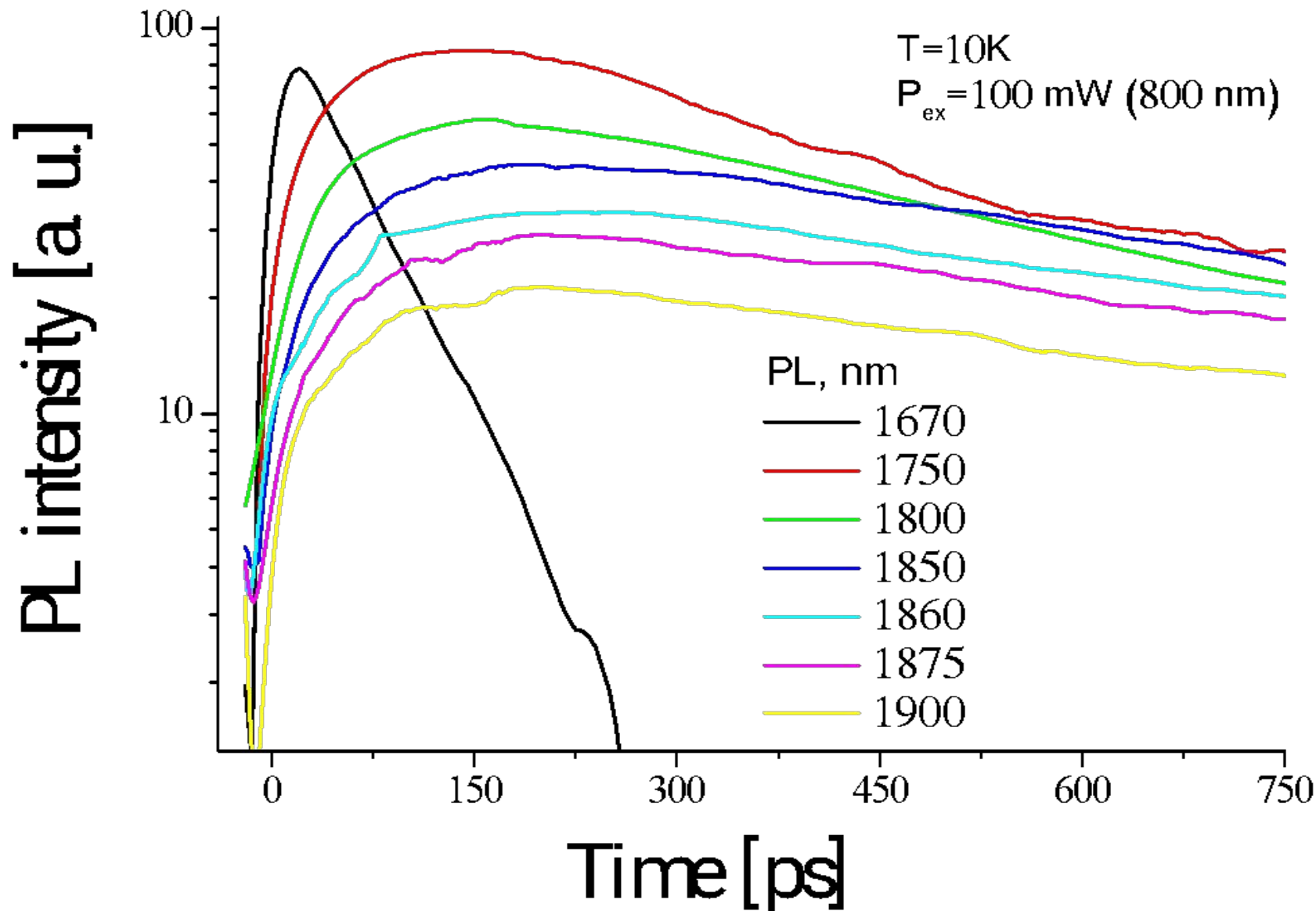


# Схема измерения кинетики фотолюминесценции InN методом “up-conversion”



# Кинетика фотолюминесценции.

Gs1804-2



# Спектр и время релаксации

Appl. Phys. Lett. **86**, 142104 (2005)

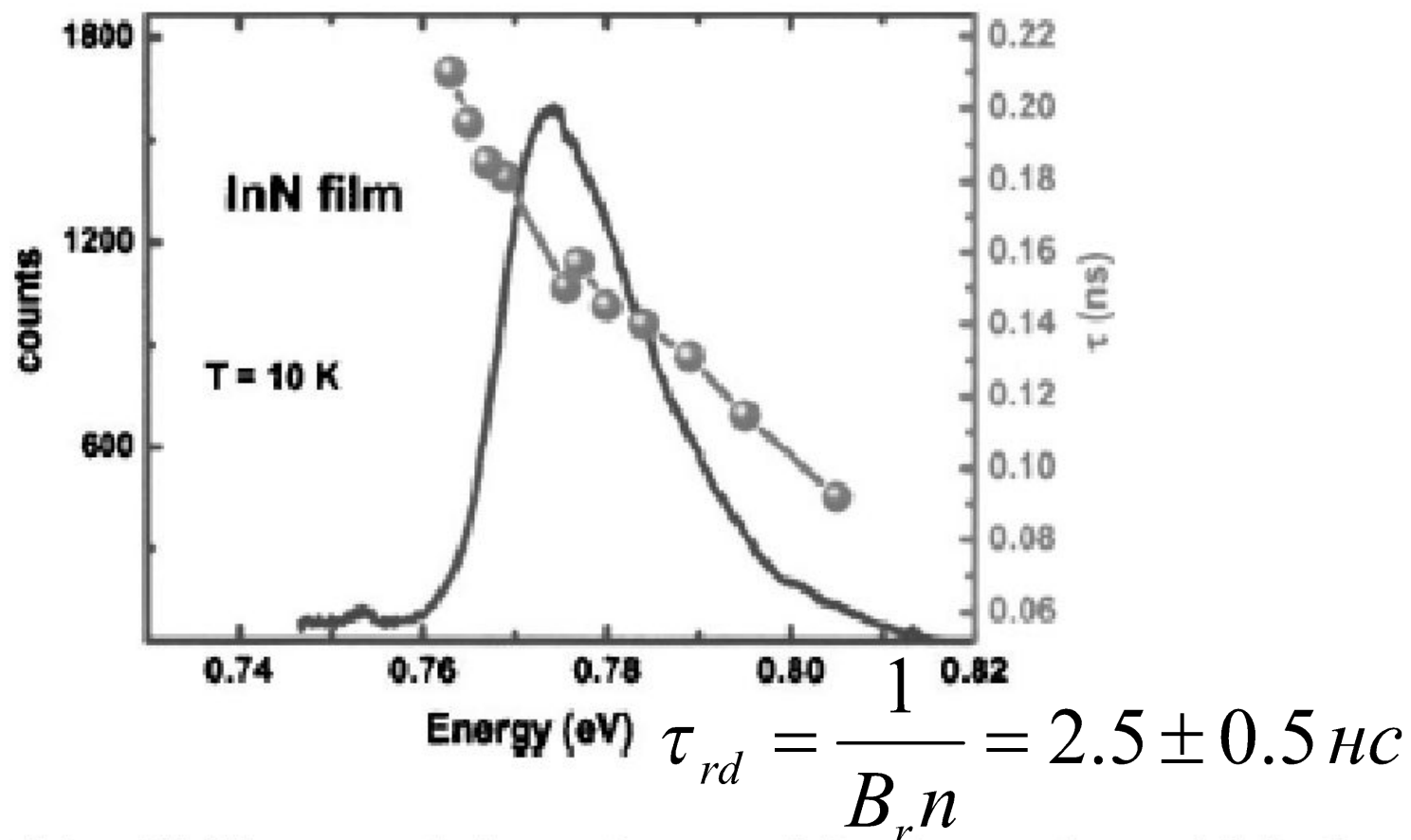


FIG. 4. Plot of the 10 K spectral dependence of the decay times (right-hand scale) together with photoluminescence of the InN film.

# Спектр и время релаксации фотолюминесценции

