

# Исследование МНЕМТ-структур методом фотолюминесценции

## Аннотация и цель

Одной из наиболее актуальных проблем современной физики является исследование наноструктур и создание новых приборов и устройств с помощью данных структур и обнаруженных квантоворазмерных эффектов.

Основным отличительным свойством наноструктур является возможность перестройки энергетического спектра с помощью ограничения движения носителей заряда в одном или нескольких направлениях. В качестве метода исследования подобных структур выбрана фотолюминесценция (ФЛ). Данная работа является исследованием метаморфных транзисторных наногетероструктур с высокой подвижностью электронов (МНЕМТ) методом ФЛ. Результатом является идентификация зонных диаграмм и изучение влияния нижележащих слоев структуры на характеристики проводящего канала.

## Описание исследуемых образцов

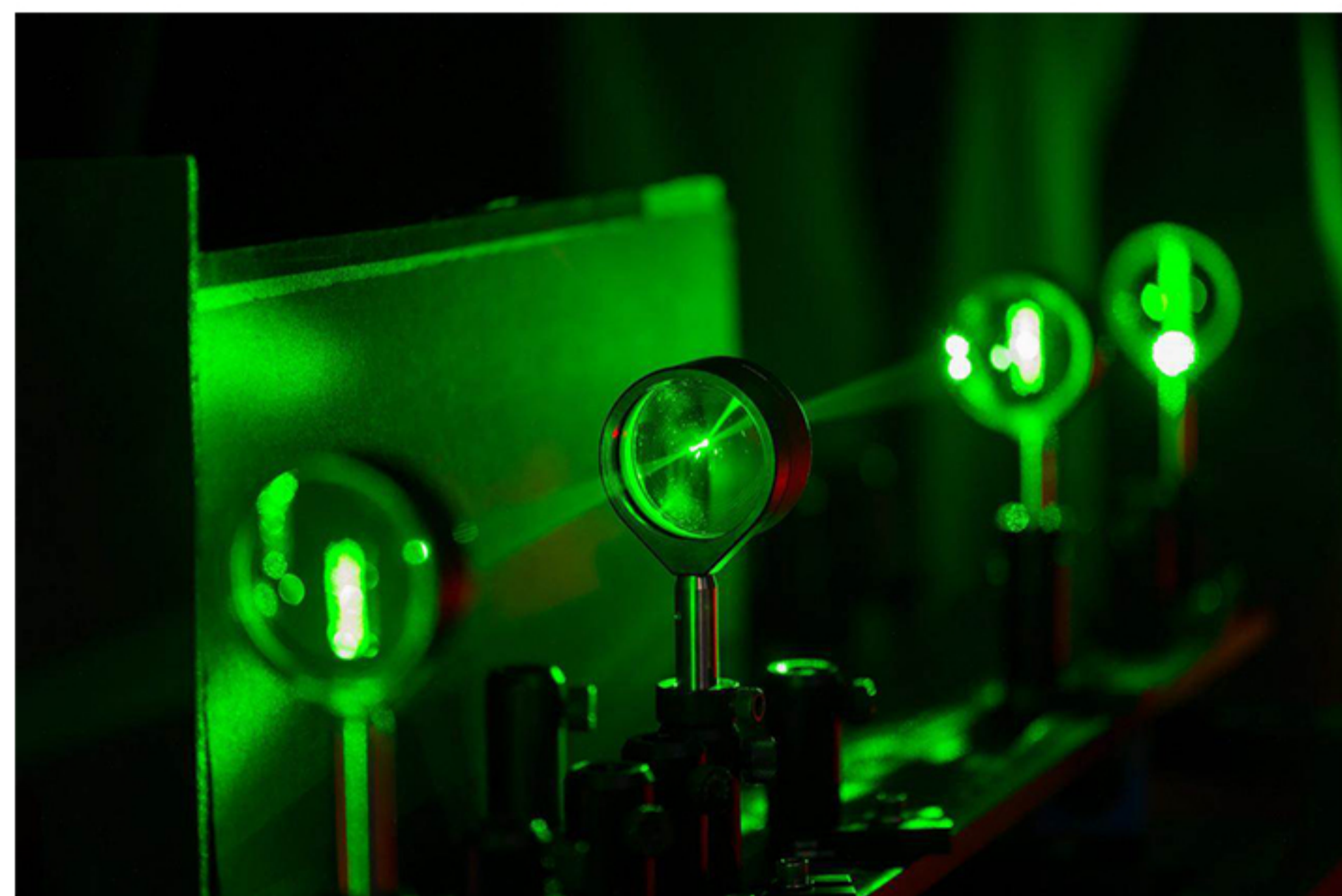
МНЕМТ наногетероструктуры 830, 888 и 889 были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на установке ЦНА-24 (Россия, г. Рязань).

Общая схема наногетероструктур приведена в таблице 1.

Таблица 1. Общая схема конструкции образцов

Слой	Толщина, Å	Температура роста, °C
$\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ (защитный слой)	67	470
$\text{In}_{0.70}\text{Al}_{0.30}\text{As}$ (барьер)	185	
Si ( $\delta$ -слой)	–	
$\text{In}_{0.70}\text{Al}_{0.30}\text{As}$ (спейсер)	64	
$\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ (КЯ)	164	
$\text{In}_{0.70}\text{Al}_{0.30}\text{As}$ (барьер)	410	
$\text{In}_{0.70}\text{Al}_{0.30}\text{As}$ (заглаживающий слой)	1000	
$\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ , $x = 0.75 \rightarrow 0.70$ (инверсная ступень)	400	
$\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ , $x = 0.05 \rightarrow 0.75$ (МБ)		
SL1 $\{\text{Al}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}/\text{GaAs}\}$	{24/14}	
GaAs (буфер)	340	

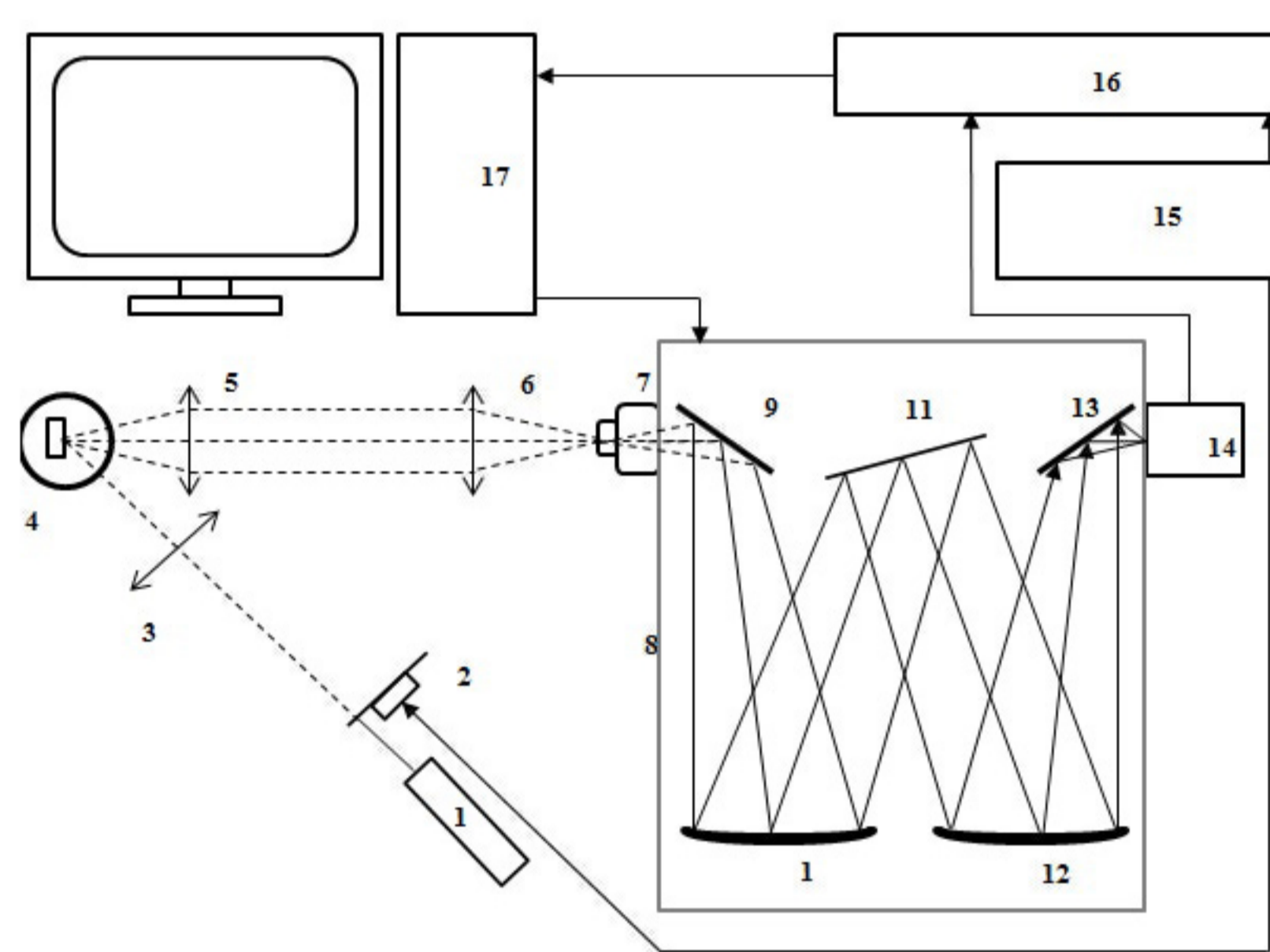
Для образца 830 был использован МБ с линейным профилем состава и с двумя пятипериодными рассогласованными сверхрешетками  $\{\text{InAlAs}/\text{InGaAs}\}$ . Цель данной конструкции ММБ заключается в создании короткопериодных локальных полей упругой деформации с чередующимися знаками, компенсирующих друг друга и поэтому не вносящих дополнительного напряжения в ММБ. Такие поля, предположительно, должны способствовать изгибанию вбок прорастающих дислокаций, что могло бы привести к увеличению подвижности электронов. Для образца 888 был использован МБ аналогичного дизайна, но число периодов в сверхрешетках было увеличено до 30. В образце 889 был использован МБ со ступенчатым профилем. Метаморфные наногетероструктуры на подложке GaAs с квантовой ямой (КЯ)  $\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{As}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{As}$  с большим содержанием InAs ( $x > 0.50$ ) используются для изготовления HEMT транзисторов (high electron mobility transistor) с рекордно высокими частотными характеристиками. Они составляют конкуренцию HEMT транзисторам на подложке InP благодаря более дешевой и менее хрупкой подложке GaAs.



## Описание установки

Установка для получения спектров ФЛ состоит из источника излучения, источника питания, монохроматора МДР-2, ИК детектора, собирающих линз и синхронного усилителя сигнала. В качестве источника излучения был выбран В качестве источника излучения был выбран твердотельный лазер на Nd:YVO4 с диодной накачкой и удвоением частоты ( $\lambda = 532$  нм). Источник питания позволяет регулировать мощность, подаваемую на лазер, и является регулятором мощности выходного оптического излучения соответственно. Линзы нужны для фокусировки изначального пучка на поверхность исследуемого образца и выходного излучения фотолюминесценции на вход монохроматора. Внутри монохроматора регистрируемый сигнал разлагается в спектр при помощи дифракционной решетки с периодом 300 или 600 штр./мм. Полезный сигнал ФЛ является довольно слабым по своей природе и для того, чтобы подавить тепловой фон, сигнал ФЛ модулируется за счет модуляции возбуждающего излучения лазера модулятором. Затем, с помощью синхронного усилителя Lock-In Amplifier (LIA), происходит выделение и усиление модулированного полезного сигнала ФЛ, поступающего с детектора. Оцифрованные данные передаются на компьютер через интерфейс RS-232. К этому же компьютеру подключается монохроматор.

Рисунок 1. Функциональная схема установки для измерения фотолюминесценции:



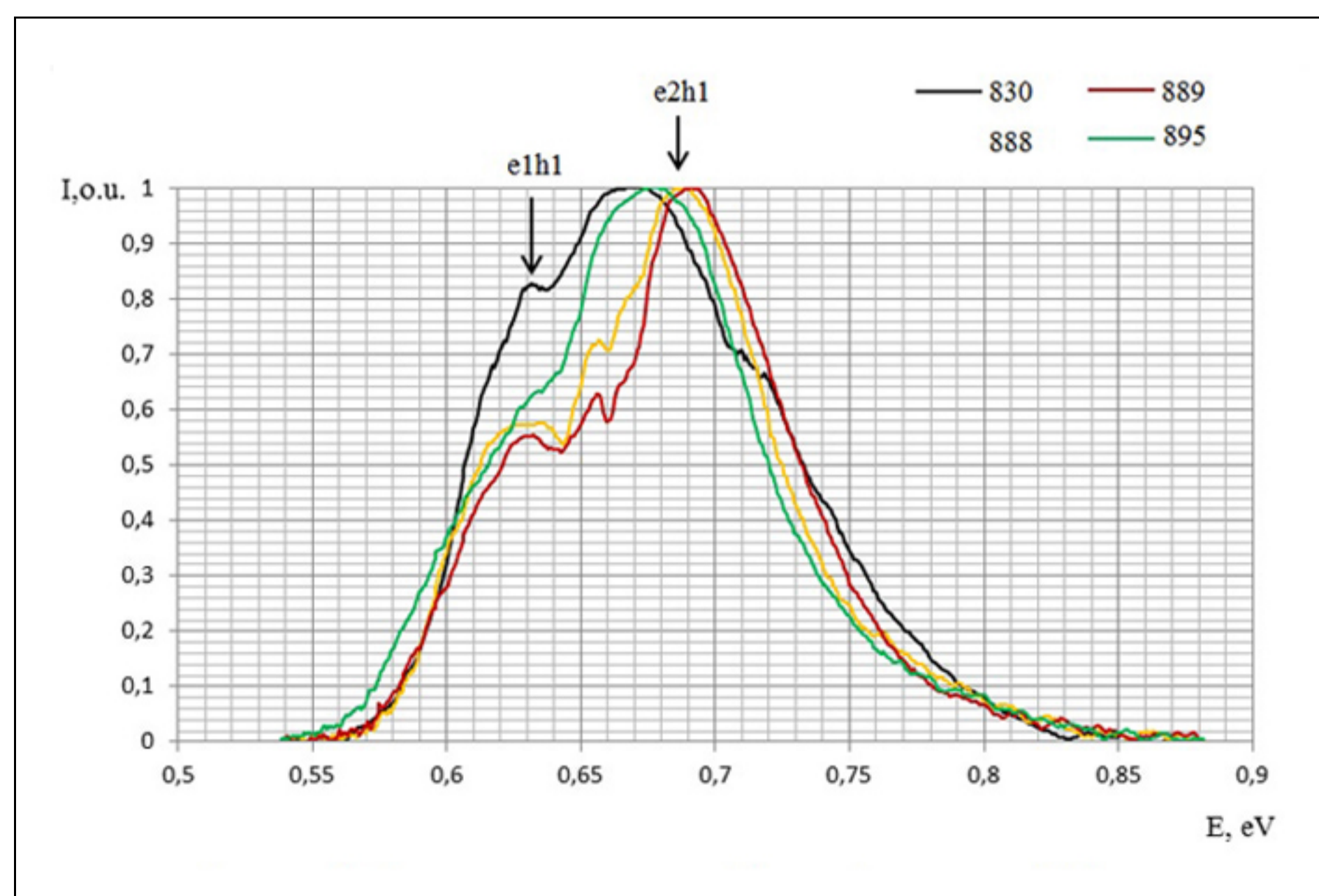
- лазер;
- электроμηχανический модулятор;
- 5, 6. собирающие линзы;
- исследуемый образец;
- светофильтр;
- решеточный монохроматор;
- 9, 13. плоские зеркала;
- 10, 12. сферические зеркала;
11. дифракционная решетка
14. фотоприемник;
15. контроллер электроμηχανического модулятора;
16. синхронный усилитель;
17. компьютер.

## Результаты и выводы

Результатами эксперимента являются спектры фотолюминесценции, на которых отчетливо видны максимумы, соответствующие переходам со второй электронной подзоны размерного квантования на первую дырочную подзону. Энергии максимумов кривых отличаются друг от друга, несмотря на то, что активная структура во всех образцах идентична. Такое различие по энергии можно объяснить флуктуациями состава материала и ширины квантовой ямы. возможны при молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ)

Положение экстремума доминирующего пика в зависимости от образца колеблется от 0,67 до 0,69 эВ при 300 К. Полуширина доминирующего пика (без учета длинноволновой особенности) колеблется от 70 до 100 мэВ, причем наибольшее у образца 830. Наибольшая интенсивность излучательной рекомбинации с третьего электронного подуровня наблюдается у образца 889. Это позволяет предполагать, что активные слои данной структуры получились наиболее совершенными и бездефектными.

Рисунок 2. Нормированные спектры ФЛ для образцов при 300 К



В результате исследования выяснилось, что оптимальной конструкцией метаморфного буфера (распределением химического состава по ширине ММБ) является конструкция в которой реализовано постепенное увеличение параметра решетки от подложки к активным слоям путем послойного увеличения мольной доли In в твердом растворе  $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ , образующем буфер. Для достижения хорошего результата необходимо наличие сверхрешетки непосредственно после подложки для предотвращения прорастания дефектов из нее, а также наличие слоя с инверсным шагом после ММБ для релаксации остаточных напряжений структуры.