



## МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ДАЛЬНОМЕРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Ю.К.Кириченко<sup>1</sup>, Д.А.Веселов<sup>1</sup>, А.А.Климов<sup>1</sup>, С.О.Слипченко<sup>1</sup>, М.А.Ладугин<sup>2</sup>,  
А.А.Мармалюк<sup>2</sup>, Ю.Л.Рябоштан<sup>2</sup>, Н.А.Пихтин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> АО НИИ «Полюс» им.М.Ф.Стельмаха, Москва, Россия

Работа поддержана Российским Научным Фондом (номер проекта 19-79-30072).

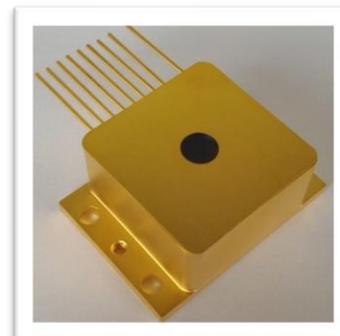


Представляем разработку AlGaInAs/InP гетероструктур для торцевых многомодовых полупроводниковых лазеров ( $\lambda=1450$  нм) с импульсной накачкой с высокой импульсной оптической мощностью. Приборы такого типа требуются для множества применений: дальнометрии, научных, медицинских, военных задач. Во многих случаях лазеры должны работать в широком диапазоне температур без активной термостабилизации, что обуславливает высокие требования по температурной стабильности лазеров.

Экспериментально исследуются и сравниваются мощностные и температурные свойства мощных лазеров на основе ряда гетероструктур, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии. Лазеры предназначены для работы в режиме импульсной накачки (100 нс/1 кГц).

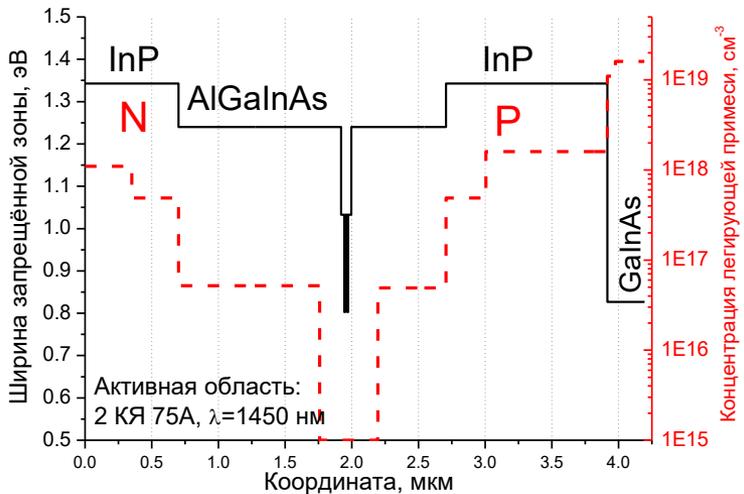
Все гетероструктуры рассчитаны для генерации на нулевой поперечной моде.

Активная область всех гетероструктур состоит из двух напряжённых квантовых ям с барьерными слоями, обеспечивающими компенсацию механических напряжений.



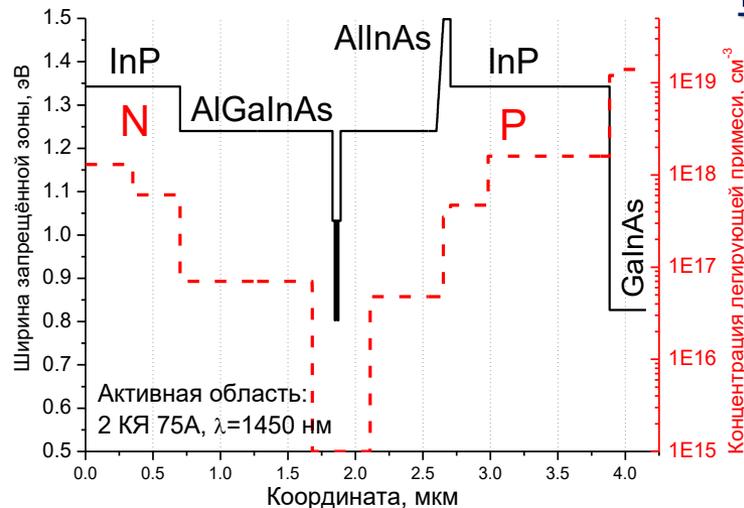
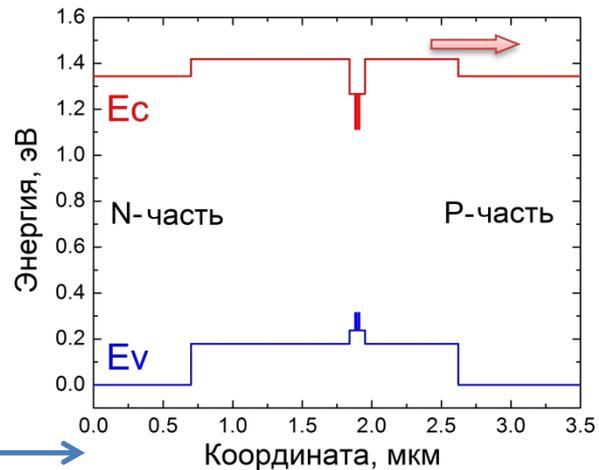


## Гетероструктура №1 (исходная)



Двойная гетероструктура раздельного ограничения с квантоворазмерной активной областью и расширенным волноводом предназначена для получения высокой мощности излучения.

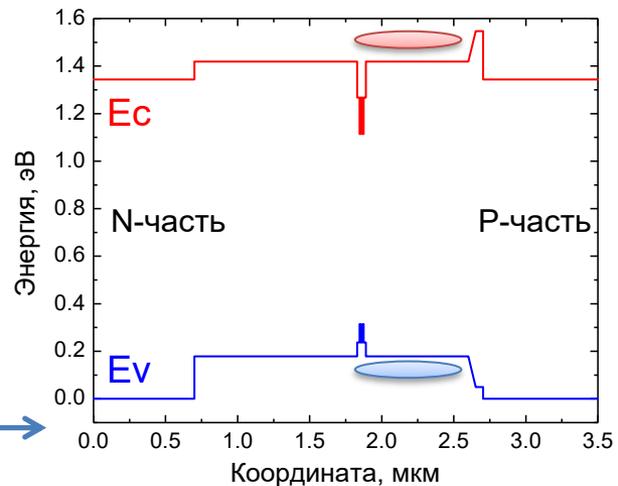
**Проблема:** гетеропереход второго рода способствует утечке носителей заряда из волновода в эмиттер.



## Гетероструктура №2 \*

Для борьбы с утечкой носителей удобно применять искусственный энергетический барьер\* – слой из широкозонного AllnAs.

**Проблема:** барьер препятствует утечке в эмиттер, однако приводит к сильному накоплению носителей заряда в р-волноводе.



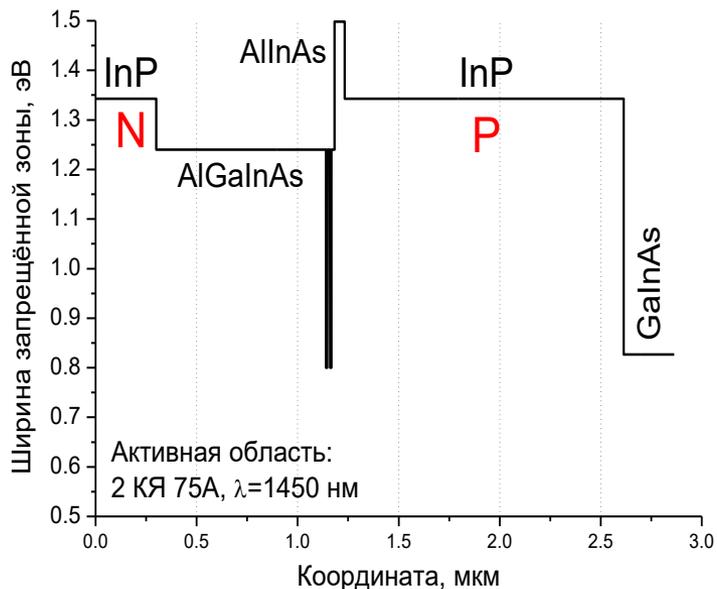
\* A.E. Zhukov et al., Appl. Phys. Lett., **100**, 021107 (2012) ;

T. Garrod, et al. Appl. Phys. Lett., **105**, 071101, (2014)



### Гетероструктура №3\*

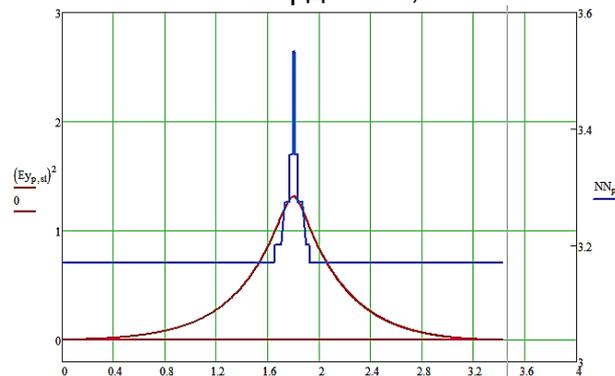
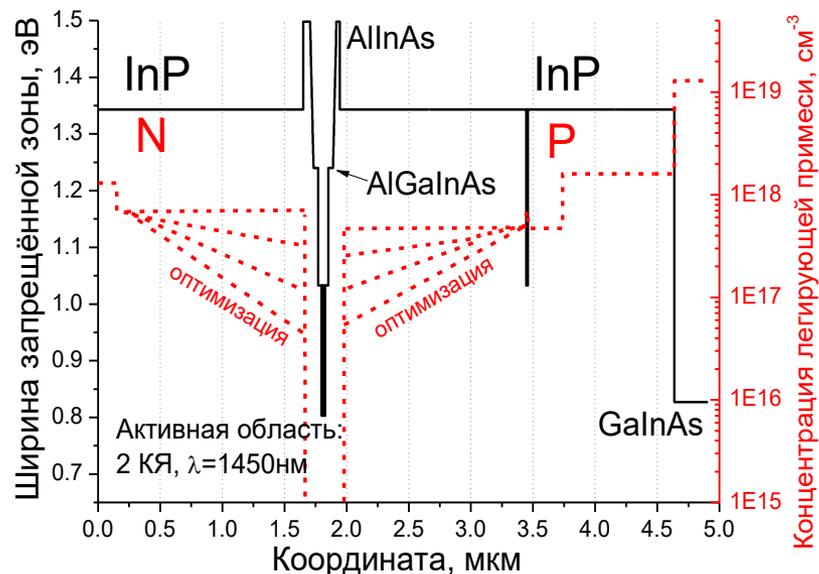
Конструкция гетероструктуры с сильным смещением активной области к р-эмиттеру позволяет разместить активную область вплотную к барьерному слою.



В данной конструкции волновод необходимо сделать узким и одномодовым, чтобы обеспечивать генерацию лазера на нулевой поперечной моде. При этом ширина моды сильно уменьшилась по сравнению с остальными гетероструктурами.

### Гетероструктура №4, гетероструктура №5

Гетероструктуры со сверхузким волноводом. Крайне требовательны к профилю легирующей примеси. Гетероструктуры №4 и №5 различаются профилем легирования

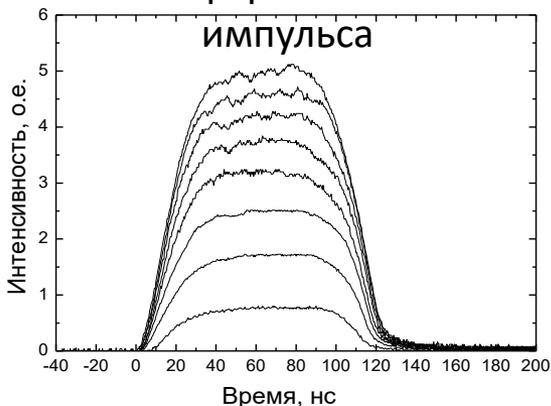


\* B.S. Ryvkin, E.A. Avrutin, J.T. Kostamovaara, Semicond. Sci. Technol. **35**, 085008, (2020)

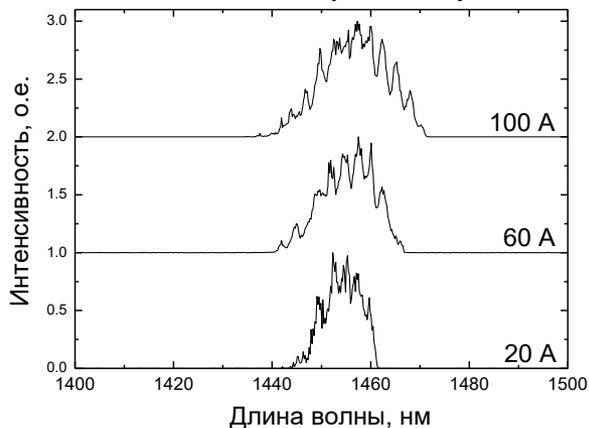


## Сравнение мощностных характеристик лазеров на основе пяти гетероструктур

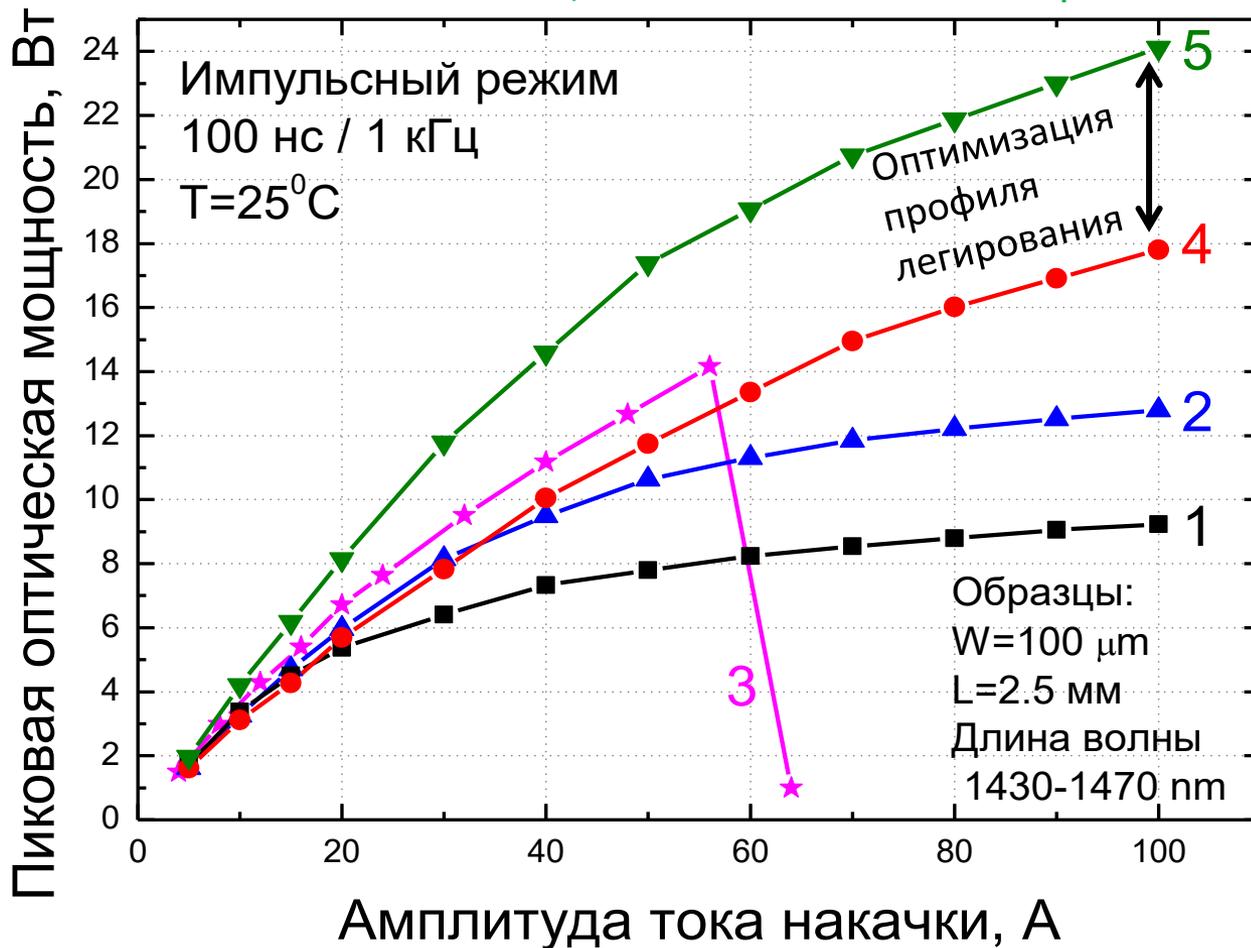
Типичные формы оптического импульса



Типичные спектры излучения



Максимальная мощность составила 25 Вт при 120 А



Для гетероструктуры №3 со смещением активной области к р-эмиттеру наблюдается деградация лазеров при сравнительно небольших токах накачки. Вероятно, она вызвана повышенной плотностью оптической мощности в волноводе.

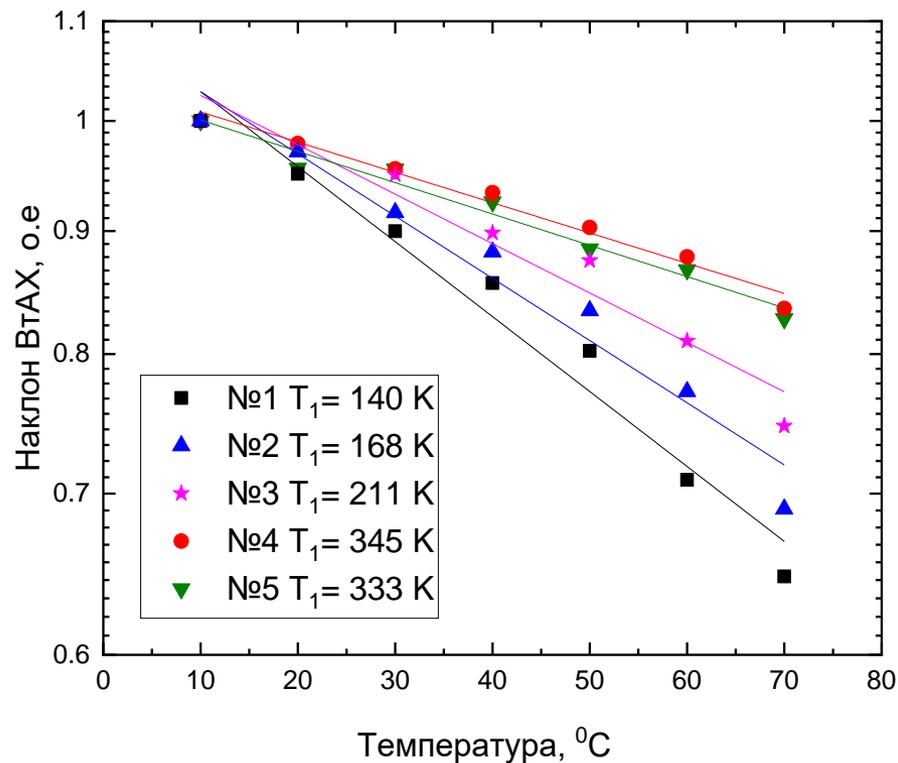
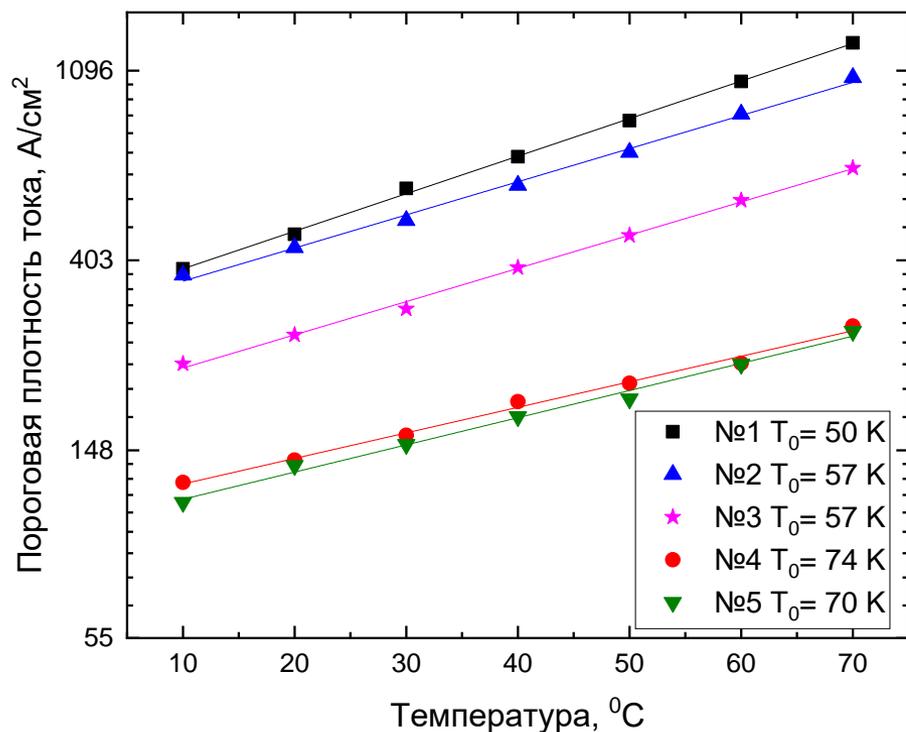


## Температурная стабильность лазеров на основе пяти гетероструктур

Стабильность температуры лазерного диода сильно зависит от процессов выброса и накопления носителей заряда. Лазерная гетероструктура № 1 без энергетических барьерных слоев демонстрирует самую низкую температурную стабильность. Гетероструктура № 2 имеет AlInAs энергетический барьер, но он находится далеко от активной области, поэтому ее температурная стабильность также низкая.

Гетероструктура № 3 имеет более высокий  $T_1$ , но ее  $T_0$  все еще аналогична результатам № 1 и № 2.

Гетероструктуры 4 и 5 имеют схожее температурное поведение. Оптимизация профиля легирования немного снизила температурную стабильность, но зато значительно увеличила мощность лазера.





## Работа лазеров на основе оптимальной гетероструктуры №5 при повышенных температурах

