

УДК 538.915 621.315.592

**ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОННОЕ –
ИНЖЕКЦИОННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТИРИСТОРОВ ДЛЯ МОДУЛЯЦИИ
УСИЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРО ЛАЗЕРОВ**

**А.М. Султанов¹,
Ж.З.Мирзарайимов²**

¹ Наманганский инженерно-технологический институт, Наманган, Узбекистан

² Республика Узбекистана МВД Наманганский академический лицей

Аннотация: Приведены экспериментальные результаты по модуляции усиления полупроводникового гетеро лазера с отдельным ограничением импульсами тока, полученными при помощи фотонно-инжекционного импульсного тиристора (ФИИТ).

Экспериментальные результаты сравниваются с теоретическими расчётами, выполненными путём решения скоростных уравнений. Изучено влияние – параметров электрического сигнала и типа лазерной структуры на генерируемые оптические импульсы.

Ключевые слова: Гетероструктура, жидкофазная эпитаксия, фотонно-инжекционных коммутаторов, оптическая импульс, длительность нарастания амплитуда тока.

**FEATURES AND PROSPECTS OF USING PHOTON-INJECTION PULSED
THYRISTORS FOR GAIN MODULATION OF SEMICONDUCTOR HETEROLASERS**

**A.M.Sultanov¹,
J.Z. Mirzarayimov²**

¹ Namangan Institute of Engineering and Technology, Namangan, Uzbekistan

² Republic of Uzbekistan the Ministry of Internal Affairs Namangan academic lyceum

Abstract: Experimental results are presented on the modulation of the gain of a semiconductor heterolaser with separate limitation by current pulses obtained using a photon-injection pulsed thyristor (PIIT).

Experimental results are compared with theoretical calculations performed by solving rate equations. The influence of the parameters of the electrical signal and the type of laser structure on the generated optical pulses is studied.

Keywords: heterostructure, liquid-phase epitaxy, photon-injection switches, optical pulse, current amplitude rise time.

**ҲАРИМЎТҚАЗГИЧЛИ ХОТИРА ЛАЗЕРЛАРНИНГ КУЧАЙТИРИШНИ
МОДУЛЯЦИЯ ҚИЛИШ УЧУН ФОТОН ИНЪЕКЦИОН ИМПУЛСЛИ
ТИРИСТОРЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ ХУСУСИЯТЛАРИ ВА ИСТИҚБОЛЛАРИ**

**А. М. Султонов¹,
З.З. Мирзарайимов²**

¹ Наманган муҳандислик-технология институти, Наманган, Ўзбекистон

² Ўзбекистон Республикаси ички ишлар вазирлиги Наманган академик лицейи

Аннотация: фотон-инъекция импульсов тиристор (ФИИТ) ёрдамида олинган оқим импульслари билан алоҳида чекланган яримўтказгичли хотира лазернинг кучайтиришни модуляция қилиш бўйича экспериментал натижалар келтирилган.

Экспериментал натижалар тезлик тенгламаларини ечиш орқали амалга ошириладиган назарий ҳисоб-китоблар билан таққосланади. Электр сигнали параметрлари ва лазер тузилиши турининг ҳосил бўлган оптик импульсларга таъсири ўрганилди.

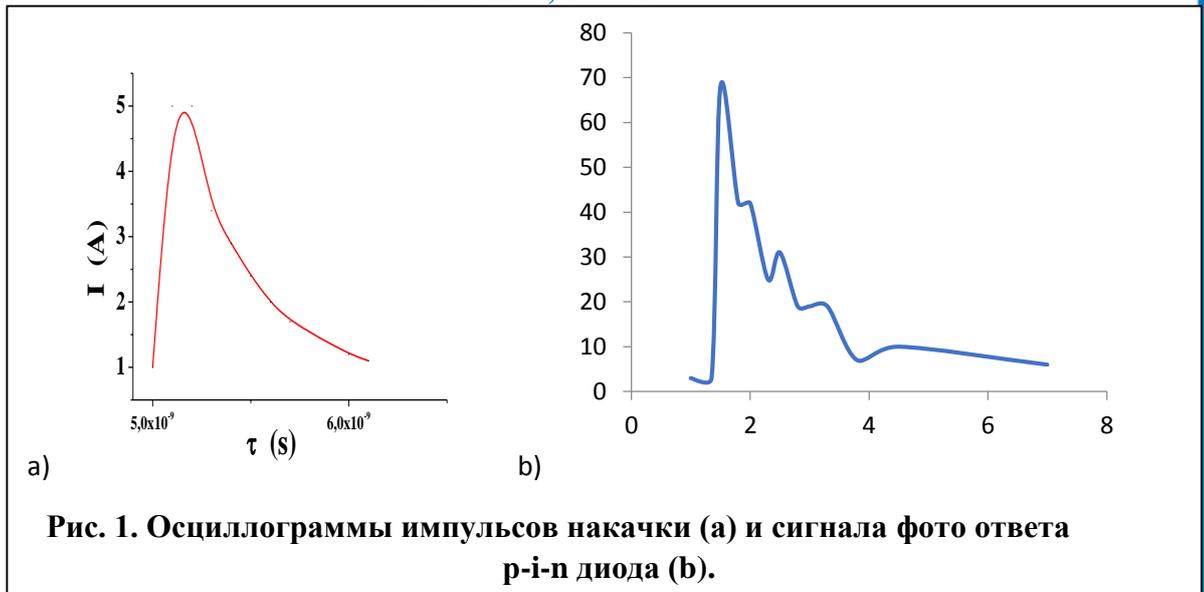
Калит сўзлар: Гетероструктура, суяқ фазали епитаксия, фотон қарши калитлари, оптик импульс, оқим амплитудасининг кўтарилиш давомийлиги.

Введения: Фотопроводящие полупроводниковые коммутаторы (PCSS) на основе полу изолирующих материалов широко используются для импульсных систем большой мощности, таких как широкополосные импульсные радиолокаторы, мощные импульсные лазеры, системы микроволнового и миллиметрового диапазона большой мощности. Среди известных PCSS приборов арсенид галлиевые PCSS привлекают значительный интерес благодаря их высокой чувствительности к оптическому воздействию. В отличие от кремния, основного материала для силовой электроники, гетеропереходы $GaAs - AlGaAs$ позволяют преобразовывать оптический сигнал в электрический внутри приборной структуры. Эти принципы открывают новые возможности для конструирования силовых приборов.

Важной особенностью полупроводниковых лазеров является возможность быстрой непосредственной модуляции усиления путём инжекции тока [1,2]. Однако, используемые в настоящее время генераторы модулирующих импульсов на основе лавинных транзисторов и диодов с накоплением заряда вследствие ограниченной электрической мощности (10 ... 50 В на нагрузке 50 Ом) [3,4] не позволяют получать пикосекундные оптические импульсы большой мощности. Характерные значения мощности оптических импульсов лежат в диапазоне 20 ... 200 мВт.

В данной работе рассмотрены перспективы использования в качестве источника модулирующих импульсов фотонное – инжекционных импульсных тиристор. Как было показано в работе [5], при включении ФИИТ модулируется импульс тока амплитудой до 10 А с фронтом нарастания 200 пс. Длительность импульса составляла 0,4 нс и выше при частоте следования до 100 кГц. Тем самым создаются условия для эффективной модуляции оптического усиления в активной области двойных гетероструктур (ДГС).

Метод: В эксперименте использовались лазерные двойные гетероструктуры с раздельным ограничением (ДГС РО), выращенные мета-дом низкотемпературной жидкофазной эпитаксии [6] с активной областью 400 ... 500 А и волноводной областью 0,5 мкм. Пороговая плотность тока была 1 кА/ см². Ширина полоска $W=100$ мкм, длина резонатора $L=300$ мкм. Для накачки лазера использовался ФИИТ, генерирующий импульс с амплитудой 6 А на нагрузке 50 Ом. Форма импульса приведена на рис. 1.,а. Оптический сигнал регистрировался с помощью ЛДФ-2А или р-і-п диода [7], включенного в разрыв полосковой линии, с которых сигнал подавался на стробоскопический осциллограф Сб-2010/5. Временное разрешение измерительной схемы с ЛФД составляло 300 пс, а с р-і-п диодом 100 пс.



Форма сигнала, регистрируемого с помощью р-і-п диода, приведена на рис. 1.,b. Ширина генерируемых оптических импульсов на полувысоте <100 пс при частоте повторения > 4 ГГц ограничивалась временным разрешением измерительной схемы. Нижняя оценка значения мощности, выполненная с помощью измерителя мощности R-7200 Energy Radiometer, составляла 200 мВт. Таким образом, уже первые экспериментальные результаты подтвердили возможность повышения пиковой мощности пикосекундных оптических импульсов.

Параметры	обозначения	Значение
Концентрация электронов	n	
Плотность фотонов	S	
Максимальная плотность фотонов в первом оптическом импульсе	S_{max}	
Плотность тока накачки	j	
Толщина активного слоя	d	0,05мкм (ДГС РО) 0,2мкм (ДГС)
Коэффициент оптического усиления	α	2,5 · 10⁻⁶ см³ · сек⁻¹
Пороговая концентрация	n⁰	10¹⁸ см⁻³
Коэффициент оптического ограничения	Γ	0,5 для d = 2 мкм 0,13 для d = 0,05 мкм
Время жизни электронов	τ_n	4 нс
Время жизни фотонов	τ_{ph}	2 пс
Доля спонтанного излучения, попадающего в лазерную моду	β	5 · 10⁻⁴
Коэффициент отражения	R	0,32
Длина резонатора	L	300 мкм
Ширина	w	100 мкм
Групповая скорость	v_g	8 · 10⁹ см/сек
Энергия фотона	hν	2,33 · 10⁻¹⁹ Дж

Методика: Более детальное исследование особенностей динамики излучения полупроводниковых лазеров на основе ДГС и ДГС РО при токовой модуляции мощными электрическими импульсами выполнено с помощью численного решения скоростных уравнений [1]:

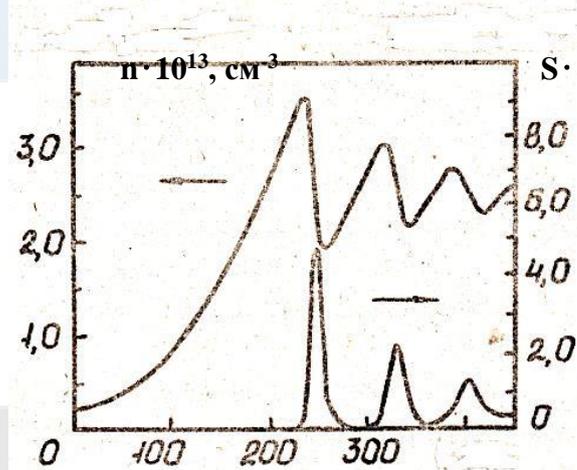
$$\frac{dn}{dt} = \frac{j}{ed} - \frac{n}{\tau_n} - (n - n^0) \cdot S \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = \Gamma \alpha (n - n^0) S - \frac{S}{\tau_{ph}} - \Gamma \beta \frac{n}{\tau_n} \quad (2)$$

Обозначения физических величин в уравнениях (1), (2) и их значения, использованные для численного моделирования, приведены в таблице.

$10^{16}, \text{cm}^{-3}$

Рис. 2. Зависимость от времени концентрации электронов n и плотности фотонов S в активной области ДГС РО лазера с активной областью $d = 0,05 \text{ мкм}$ при накачку импульсом типа $j = 20 \text{ кА/см}^2$ с фронтом 200 пс .



$t, \text{ пс}$.

Решение системы уравнений (1), (2) методом Рунге – Кутта четвертого порядка для модели ДГС РО лазера, используемого в эксперименте, при плотности тока накачки 20 кА/см^2 с фронтом нарастания тока 200 пс показана на рис. 2. Ширина на полувысоте первого оптического импульса

составляет 12 пс , частота следования 13 ГГц .

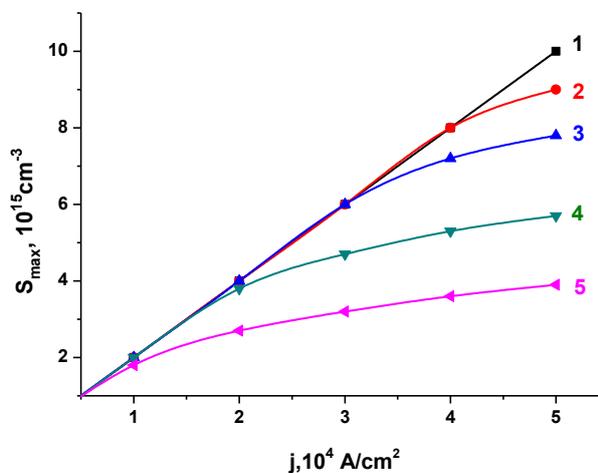


Рис. 3. Зависимость плотности фотонов S_{max} максимуме оптического импульса от плотности тока накачки j для разных фронтов импульсов накачки: 1 – 0 нс ; 2 – $0,2 \text{ нс}$; 3 – $0,3 \text{ нс}$; 4 – $0,5 \text{ нс}$; 5 – 1 нс

Значение пиковой мощности первого оптического импульса, вычисленное по формуле:

$$P = 0,5 \cdot S_{\max} \cdot h\nu \cdot v_g(1 - R)wd \quad (3)$$

Для лазерной структуры, использованной в эксперименте, составляет 5 Вт.

Влияние параметров электрического сигнала на генерируемые пикосекундные оптические импульсы, иллюстрируется зависимостями, представленными на рис. 3-5. Как видно из рис. 3., уровень приращения значений максимальной плотности фотонов в первом оптическом импульсе с ростом плотности тока накачки в значительной степени ограничен длительностью фронта нарастания амплитуды тока.

Такой характер зависимостей определяется тем, что при больших длительностях фронта нарастания тока накачки первый оптический импульс наблюдается раньше, чем достигнет максимума амплитуда модулирующего импульса тока, т.е. генерирование оптической мощности происходит в момент времени, не оптимальный с точки зрения подачи в активную область лазера электрической мощности.

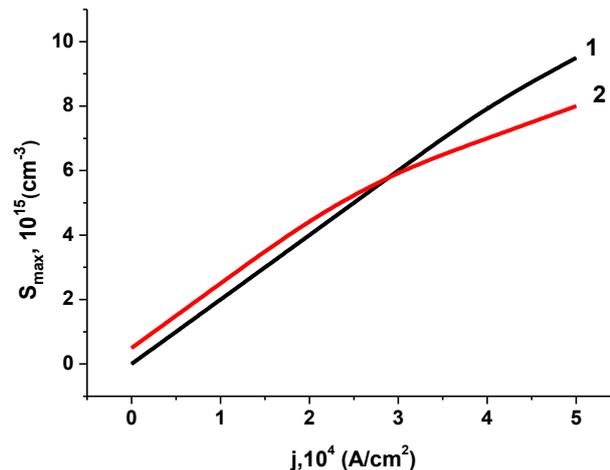


Рис. 4. Зависимость плотности фотонов в максимуме оптического импульса от плотности тока накачки j с фронтом нарастания 0,2 нс:

1 – ДГС лазер с $d=2$ мкм;

2 – ДГС РО лазер с $d=0,05$ мкм.

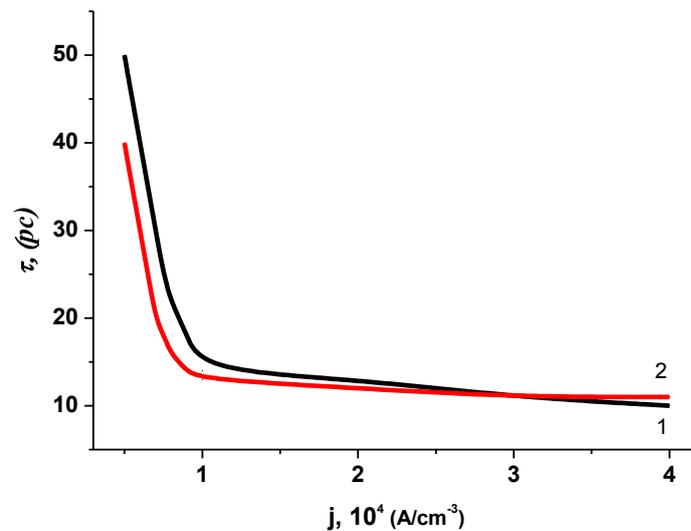


Рис. 5. Зависимость ширины оптического импульса на полувысоте от плотности тока накачки j с фронтом нарастания 0,2 нс: 1 – ДГС лазер с $d = 0,2$ мкм; 2 – ДГС РО лазер с $d = 0,05$ мкм.

Следует отметить, что оценка перспектив использования лазерных структур на основе ДГС и ДГС РО для модуляции мощных пикосекундных импульсов свидетельствует о сопоставимости их основных параметров (см. рис. 4, 5) при повышенных плотностях тока накачки. Это объясняется низким значением коэффициента оптического ограничения Γ для участвующих в усилении лазерного излучения.

Заключение: На основе полученных результатов [8], найден сравнительно простой путь интеграции источника пикосекундных оптических импульсов и генератора модулирующих импульсов.

Таким образом, использование фотонно-инжекционных импульсных тиристорov в качестве генератора накачки полупроводниковых гетеро лазеров делает возможным получение оптических импульсов мощностью в единицы ватт при длительности менее 50 пс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Paulus P., Langenharst R., Jager D. Generation and optimum control of picosecond optical pulses from gain-switched semiconductor lasers // IEEE J. Quant. Electron. – 1988. – Vol. 24, № 8. P. 1519-1523.
2. Голдобин М.С., Лукьянов В.Н.Б Пак Г.Т. и др. Генерирование и регистрация пикосекундных оптических импульсов при прямой токовой модуляции инжекционного гетеролазера. // Письма в ЭТФ. – 1985. – Т. II, № 14. – стр. 862-865.
3. Marcus R.B. Measurement of high - speed signals in solid - state devices. // Semiconductors and Semimetals. – Vol. 28. – Academic Press, 1990. 438 p.
4. Ермалицкий Ф.А., Костюкович Н.К., Прохоренко А.С. и др. Блок накачки пикосекундных инжекционных гетеролазеров. // ПТЭ. – 1990. - № 2. – стр. 246.
5. Алфёров Ж.И., Ефанов В.М., Задионов Ю.М. и др. Электрически управляемые трехэлектродные высоковольтные переключатели субнаносекундного

диапазона на основе многослойной *GaAs – AlGaAs* гетероструктуры. // Письма в ЖТФ. – 1988. – Т. 12 - № 21. -стр. 1281-1285.

6. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А. и др. Низкопороговые ($j = 230$ А/см², $T = 300$ К) *AlGaAs* ДГС РО лазеры, полученные методом жидкофазной эпитаксии. // ФТП. – 1986. – Т. 20, № 2. – стр. 381-383.

7. Бутусов Д.М., Гоцадзе Г.Г., Ларионов В.Р. и др. Быстродействующий p-i-n *GaAs – AlGaAs* фотоприёмники, работающий в вентиляльном режиме. // Письма в ЖТФ. – 1989. – Т. 15, № 9. – стр. 88-93.

8. Султанов А.М. Разработка технологии создания и исследование фотонно-инжекционных коммутаторов на основе гетероструктур *GaAs-AlGaAs*. Дисс. на соиск. Учёной степ. канд. физ. – мат. наук. Санкт – Петербург, 1992.