

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

**Функциональный фото-электрический преобразователь с
частотно- импульсной модуляцией на основе высокоомного GaAs
в системе лазер- детектор**

АФТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Терёхина Никиты Александровича

Научный руководитель

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Михайлов А.И.

инициалы, фамилия

Консультант

зав. лабораторией

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Кожевников И.О.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Михайлов А.И.

инициалы, фамилия

Саратов 2019

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика темы.

Актуальность темы. Актуальность данной работы заключается в том, что обладая уникальными выходными параметрами, система лазер-детектор широко применяются в самых различных областях науки и техники: физике и химии, биологии и медицине (в биологии лазеры используют главным образом для диагностических целей, например для изучения биомолекул), оптической обработке и записи информации (для записи и считывания закодированной информации оптической памяти ЭВМ), для измерения и контроля, в военных целях (лазерное оружие, лазерные дальномеры, лазерные целеуказатели) и ещё целом ряде областей.

Целью данной работы является изучение принципов работы оптической системы лазеров - полупроводниковый приёмник лазерного излучения.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи: 1) Обзор литературы по теме лазерных оптических систем связи, 2) Обзор литературы по теме полупроводниковых приёмников лазерного излучения, 3) Изучение принципа действия детектора лазерного излучения с частотно-импульсной модуляцией на основе высокоомного GaAs, 4) Анализ выполненной работы.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования его результатов в медицинской практике, на производстве, а также в лабораторных исследованиях и экспериментах.

Исследуемая структура

В статье А.И. Михайлова, А.В. Митина, И.О. Кожевникова «Функциональный однокристалльный преобразователь свет-частота на основе высокоомного n -GaAs» было представлено устройство функционального фотодетектора позволяющего преобразовывать оптический сигнал в электрический сигнал с частотно-импульсной модуляцией.

Функциональный однокристалльный преобразователь свет-частота представляет собой планарно-эпитаксиальную мезоструктуру на основе высокоомного n -GaAs с двумя омическими контактами, схожую по конструкции с фоторезистором (рисунок 1). Длина засвечиваемой области (расстояние между омическими контактами) лежит в диапазоне 50–200 мкм. Ограничение в сторону больших значений длины связано с увеличением порогового напряжения возникновения токовых колебаний, в сторону меньших значений длины – с уменьшением фоточувствительности.

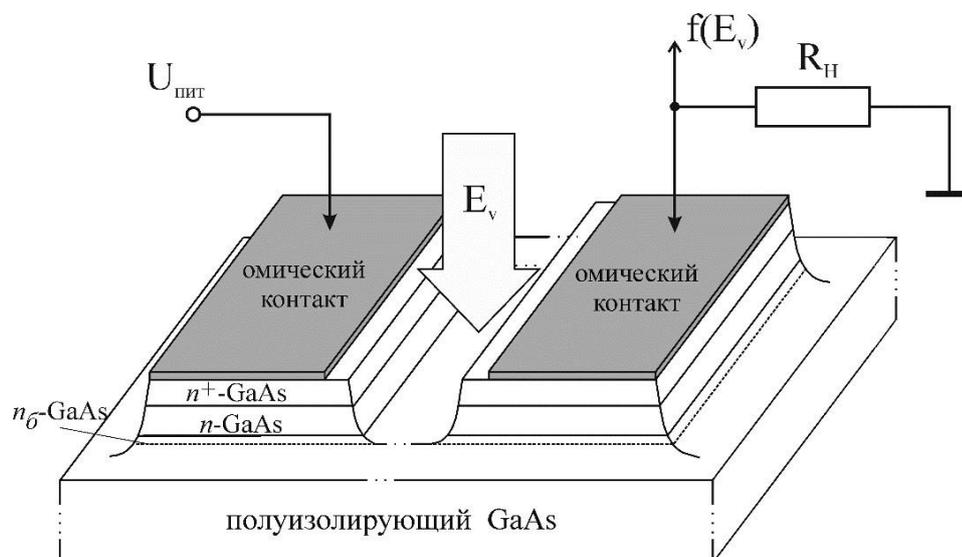


Рисунок 1 – Функциональный однокристалльный преобразователь свет-частота.

Оборудование и методика измерений

В данной работе исследовали влияние импульсной засветки лазерным излучением полупроводниковой структуры высокоомного AsGa с характерной токоустойчивостью. Измерительная схема (рисунок 2) состоит из источника питания (ИП), структуры источника питания лазерного диода (ЛД), функционального генератора импульсов, падающего импульс тока на лазерный диод, осциллограф регистрирует выходной сигнал с полупроводниковой структуры. Длина волны (λ) лазерного диода = 640нм. Частота исследования импульсов (ν) = 5кГц.

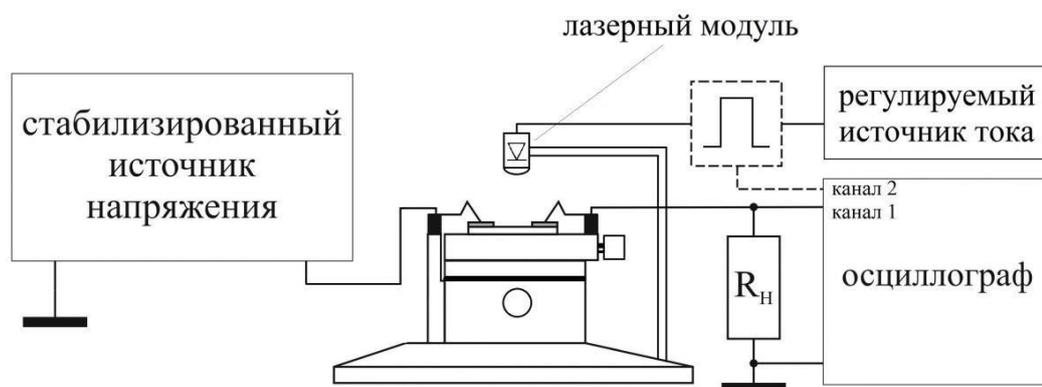


Рисунок 2 – Схема измерительной установки для исследования параметров преобразователя свет-частота.

Излучение лазерного диода фокусировалось в меж контактной области полупроводниковой структуры.

Эксперимент

Исследуем гомоструктуру на основе GaAs с проводимостью n^+ и n^- . На ВАХ возникает падающий участок, это связано с О.Д.П (отрицательная дифференциальная проводимость).

На ВАХ подъём графика соответствует моменту захвата электрона, резкий спад графика соответствует моменту покидания электрона с орбитали атома. Период колебаний, соответствует изменению мощности свечения лазера на образец (рисунок 3, 4).

Таблица 2 – Значения ВАХ.

| Образец $G = 0,025 \text{ Ом}^{-1}$. | | | | Образец $G = 0,35 \text{ Ом}^{-1}$. | | | |
|---------------------------------------|-------|--------------|-------|--------------------------------------|-------|--------------|-------|
| Без освещения | | С освещением | | Без освещения | | С освещением | |
| U, В | I, mA | U, В | I, mA | U, В | I, mA | U, В | I, mA |
| 1..18 | 0,001 | 0..4 | 0,001 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0,002 | 4..11 | 0,002 | 1..11 | 0,002 | 1 | 0,002 |
| 20 | 0,002 | 12..17 | 0,004 | 12 | 0,003 | 2 | 0,003 |
| 21 | 0,003 | 18 | 0,004 | 13 | 0,004 | 3 | 0,004 |
| 22 | 0,004 | 19 | 0,004 | 14 | 0,007 | 4 | 0,006 |
| 23 | 0,007 | 20 | 0,005 | 15 | 0,011 | 5 | 0,009 |
| 24 | 0,011 | 21 | 0,006 | 16 | 0,018 | 6 | 0,013 |
| 25 | 0,018 | 22 | 0,007 | 17 | 0,029 | 7 | 0,016 |
| 26 | 0,013 | 23 | 0,01 | 18 | 0,045 | 8 | 0,021 |
| 27 | 0,014 | 24 | 0,015 | 19 | 0,068 | 9 | 0,026 |
| 28 | 0,014 | 25 | 0,021 | 20 | 0,1 | 10 | 0,031 |
| 29 | 0,016 | 26 | 0,032 | 21 | 0,14 | 11 | 0,037 |
| 30 | 0,019 | 27 | 0,026 | 22 | 0,2 | 12 | 0,043 |
| 31 | 0,02 | 28 | 0,029 | 23 | 0,27 | 13 | 0,05 |
| 32 | 0,022 | 29 | 0,029 | 24 | 0,38 | 14 | 0,058 |
| 33 | 0,022 | 30 | 0,03 | 25 | 0,5 | 15 | 0,067 |
| 40 | 0,022 | 34 | 0,034 | 26 | 0,64 | 16 | 0,08 |
| 41 | 0,025 | 37 | 0,037 | 27 | 0,82 | 17 | 0,095 |
| | | 39 | 0,041 | 28 | 0,45 | 18 | 0,115 |
| | | 40 | 0,043 | 29 | 0,31 | 19 | 0,14 |
| | | 41 | 0,044 | 30 | 0,35 | 20 | 0,18 |
| | | | | | | 21 | 0,236 |
| | | | | | | 22 | 0,3 |
| | | | | | | 23 | 0,4 |
| | | | | | | 24 | 0,5 |
| | | | | | | 25 | 0,64 |
| | | | | | | 26 | 0,83 |
| | | | | | | 27 | 0,98 |
| | | | | | | 28 | 0,83 |
| | | | | | | 29 | 0,75 |
| | | | | | | 30 | 0,79 |

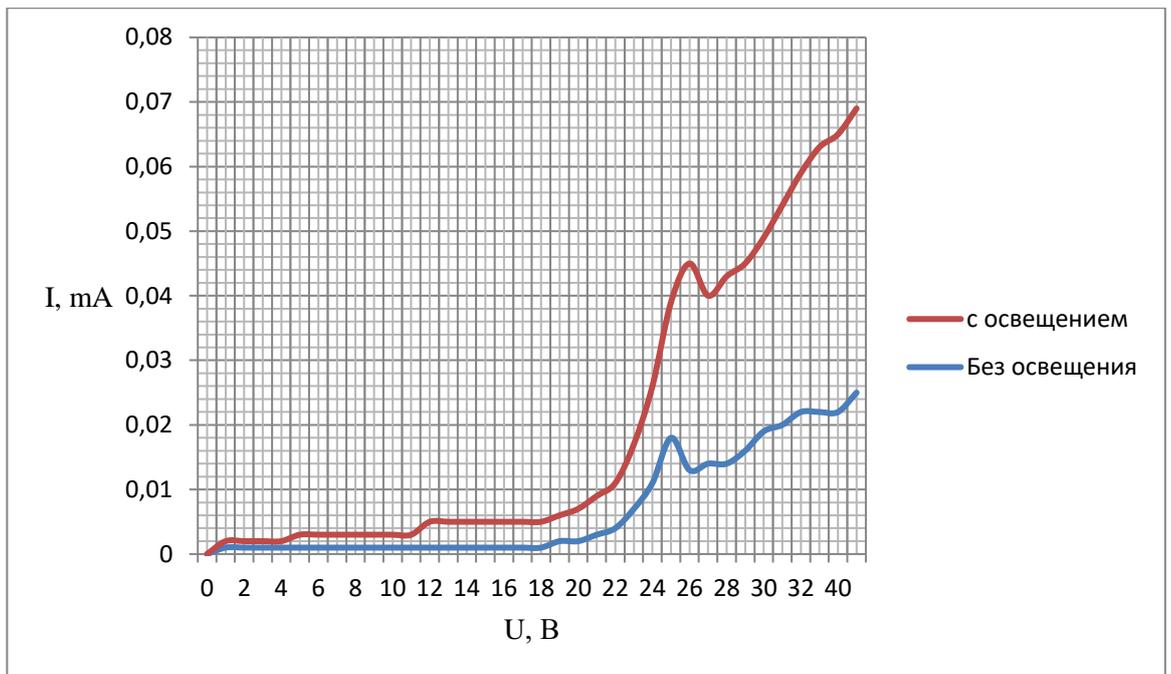


Рисунок 3 – Структура с электропроводностью $G= 0,025 \text{ Ом}^{-1}$.

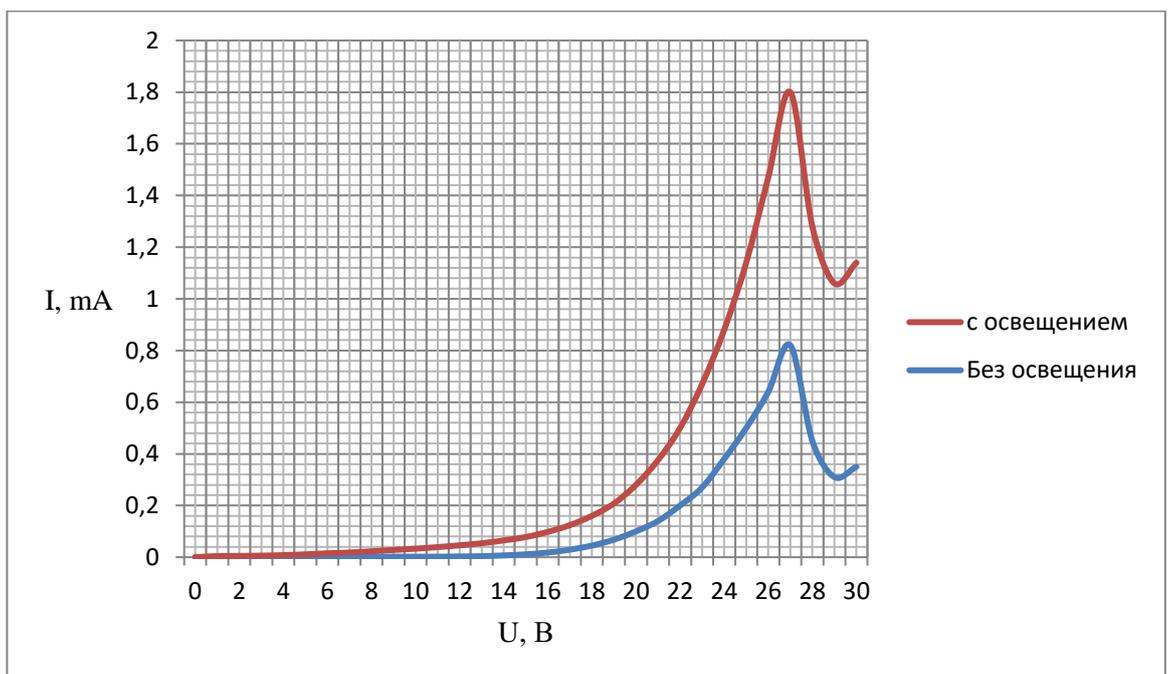


Рисунок 4 – Структура с электропроводностью $G= 0,35 \text{ Ом}^{-1}$.

На экране осциллографа регистрировались, сигнал на лазерном диоде и выходной сигнал структуры, снимали с нагрузочного резистора, подключенного последовательно со структурой. При отсутствии засветки лазерного излучения (рисунок 5). При приложении к структуре напряжения, возникали колебания тока ($\nu=7,8\text{кГц}$), амплитуда ($A=49\text{мВ}$). На осциллограмме верхняя линия характеризует сигнал питания лазерного

диода, нижняя характеризует выходной сигнал с полупроводниковой структуры.

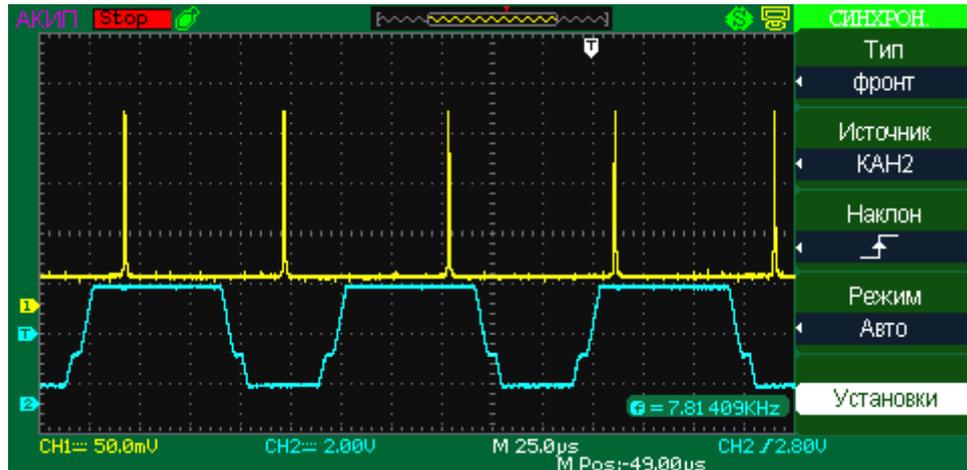


Рисунок 5 – Показания осциллографа при отсутствии засветки ($I_{\text{лд}}=0\text{мА}$).

При силе тока лазерного диода $I_{\text{лд}}=10\text{мА}$, частота токовых колебаний не изменяется (рисунок 6).

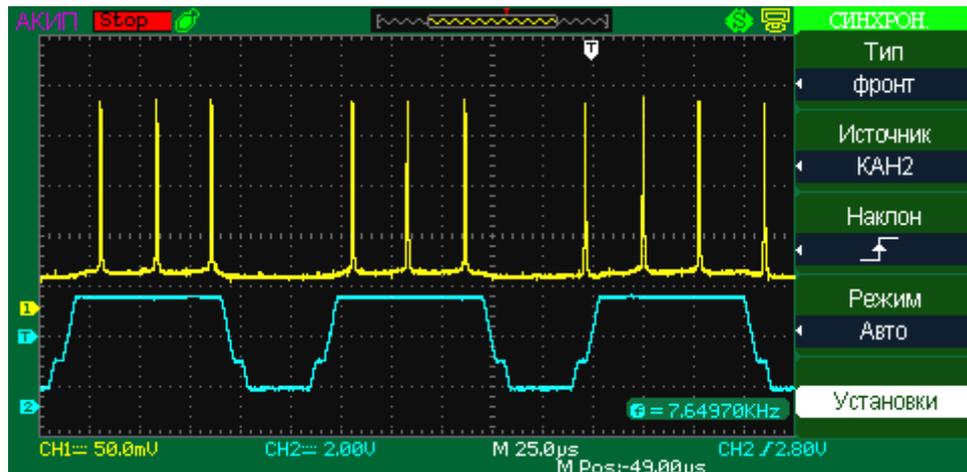


Рисунок 6 – Показания осциллографа при засветке $I_{\text{лд}}=10\text{мА}$.

При увеличении тока лазерного диода до 20 мА на осциллограмме становится различимой модуляция основной частоты токовых колебаний структуры (рисунок 7). На участках высокого уровня сигнала лазерного диода частота вдвое больше, чем на участках низкого уровня сигнала.

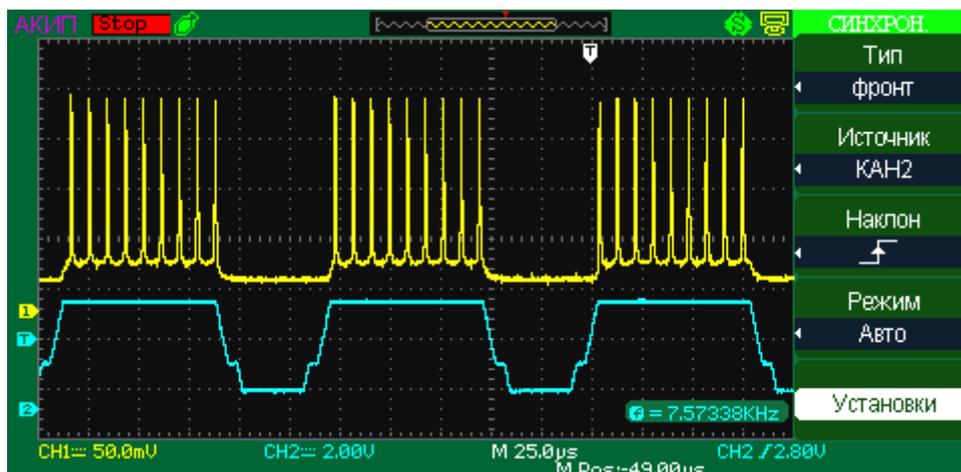


Рисунок 7 – Показания осциллографа при засветке $I_{\text{лд}}=20\text{mA}$.

При увеличении тока лазерного диода до $I_{\text{лд}}=30\text{mA}$, частота токовых колебаний структуры на участках высокого уровня сигнала лазерного диода, частота увеличилась в 4 раза, чем на участках низкого уровня сигнала (рисунок 8).

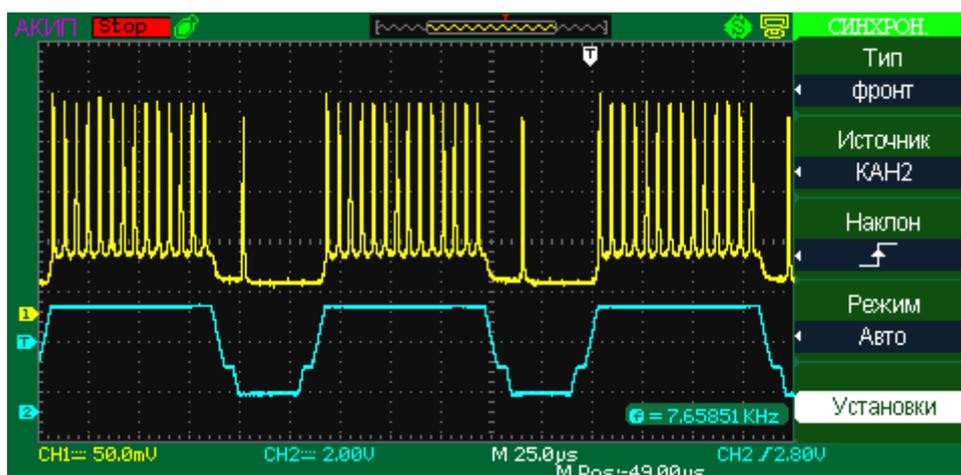


Рисунок 8 – Показания осциллографа при засветке $I_{\text{лд}}=30\text{mA}$.

При увеличении тока проходящего через лазер увеличивается мощность излучения, что приводит к увеличению частоты.

Из осциллограмм представленных выше следует, что воздействие засветки оптическим излучением с длиной волны, соответствующей собственному поглощению GaAs, приводит к росту частоты токовых колебаний. Из-за того, что колебания тока возникают при фиксированном пороговом напряжении ($V=23\text{ В}$), позволяет использовать такой преобразователь в качестве логического ключа, поскольку на зависимости частоты колебаний от приложенного напряжения присутствуют два

устойчивых положения, соответствующих логической единице (колебания тока присутствуют) и логическому нулю (колебания отсутствуют). Появление колебаний тока при пороговом значении напряжения позволяет использовать такой преобразователь в качестве переключаемого элемента, управляемого двумя различными по природе сигналами.

Зависимость, представленная на рисунке 9, показывает, как изменяется частота структуры от мощности падающего излучения. Частота колебаний структуры должна быть в 2 и более раз выше частоты оптического сигнала для применения на больших частотах.

Таблица 3 – Значения мощности падающего излучения и частот.

| 31 V | | | 32 V | | | 33 V | | |
|-------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|
| I, ма | P, мкВт | f, кГц | I, ма | P, мкВт | f, кГц | I, ма | P, мкВт | f, кГц |
| 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 5,8 | 0 | 0 | 4,8 |
| 5 | 8,125 | 18,4 | 5 | 8,125 | 14,3 | 5 | 8,125 | 10,8 |
| 10 | 16,25 | 28 | 10 | 16,25 | 21 | 10 | 16,25 | 16,7 |
| 12 | 27,88 | 39 | 12 | 41,608 | 32 | 12 | 41,608 | 25 |
| 13 | 68,9525 | 0 | 13 | 84,1495 | 44 | 13 | 84,1495 | 36 |
| | | | 14 | 273,644 | 98 | 14 | 273,644 | 82 |
| | | | 15 | 585,8125 | 0 | 15 | 585,8125 | 130 |
| | | | | | | 16 | 996,376 | 0 |
| 34 V | | | 35 V | | | 36 V | | |
| I, ма | P, мкВт | f, кГц | I, ма | P, мкВт | f, кГц | I, ма | P, мкВт | f, кГц |
| 0 | 0 | 4,1 | 0 | 0 | 5,6 | 0 | 0 | 4 |
| 5 | 8,125 | 9,3 | 5 | 8,125 | 10,2 | 5 | 8,125 | 7 |
| 10 | 16,25 | 15,4 | 10 | 16,25 | 15,37 | 10 | 16,25 | 11 |
| 12 | 41,608 | 22,6 | 12 | 41,608 | 23 | 12 | 41,608 | 18 |
| 13 | 84,1495 | 32 | 13 | 84,1495 | 34 | 13 | 84,1495 | 28 |
| 14 | 273,644 | 75 | 14 | 273,644 | 75 | 14 | 273,644 | 61 |
| 15 | 585,8125 | 122 | 15 | 585,8125 | 116 | 15 | 585,8125 | 104 |

| | | | | | | | | |
|----|-----------|-----|------|------------|-----|----|-----------|-----|
| 16 | 996,376 | 144 | 16 | 996,376 | 130 | 16 | 996,376 | 125 |
| 17 | 1481,0555 | 0 | 17 | 1481,0555 | 138 | 17 | 1481,0555 | 133 |
| | | | 17,5 | 1743,60156 | 0 | 18 | 2015,572 | 138 |

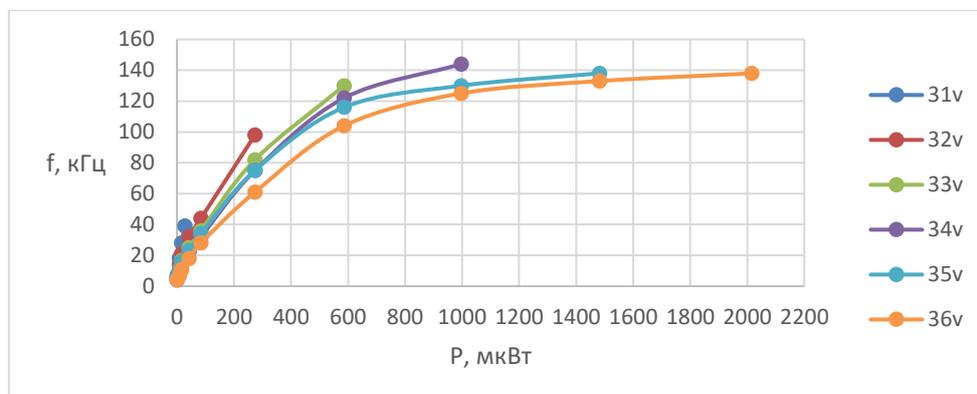


Рисунок 9 – Зависимость частоты колебаний от мощности падающего излучения.

На рисунке 10 представлена зависимость чувствительности структуры от приложенного напряжения. Из данной зависимости видно, как увеличивается чувствительность от приложенного напряжения.

Таблица 4 – Данные для расчёта зависимости чувствительности от мощности падающего излучения

| k | Δf , кГц | ΔP , мкВт | U, V |
|----------|------------------|-------------------|------|
| 1,147776 | 32 | 27,88 | 31 |
| 0,430187 | 36,2 | 84,1495 | 32 |
| 0,21372 | 125,2 | 585,8125 | 33 |
| 0,140409 | 139,9 | 996,376 | 34 |
| 0,089396 | 132,4 | 1481,055 | 35 |
| 0,066482 | 134 | 2015,572 | 36 |

Значение чувствительности вычисляется по следующей формуле:

$$k = \frac{\Delta f}{\Delta P} \quad (11)$$

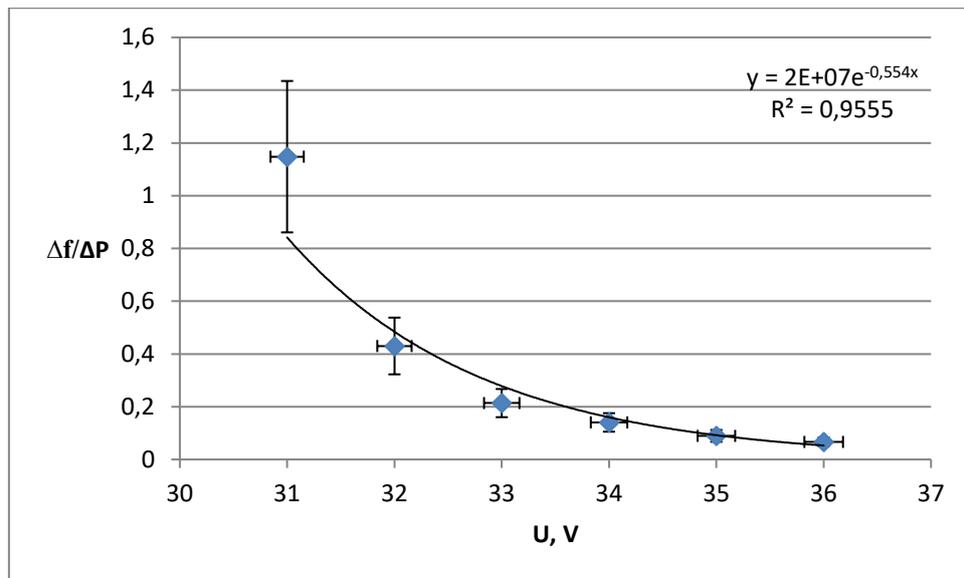


Рисунок 10 – Зависимость чувствительности от мощности падающего излучения.

На рисунке 11 представлена зависимость приложенного напряжения от мощности падающего излучения. Данная зависимость показывает «точки обрыва» точки, при которых частота в структуре равняется нулю.

Таблица 5 – Данные для построения зависимости приложенного напряжения от мощности падающего излучения

| U, V | P, мкВт |
|------|----------|
| 31 | 27,88 |
| 32 | 273,644 |
| 33 | 585,8125 |
| 34 | 996,376 |
| 35 | 1481,055 |
| 36 | 2015,572 |

Значения мощности брали из таблицы 3, при которых значение частоты равнялось 0, то есть соответствует точке срыва.

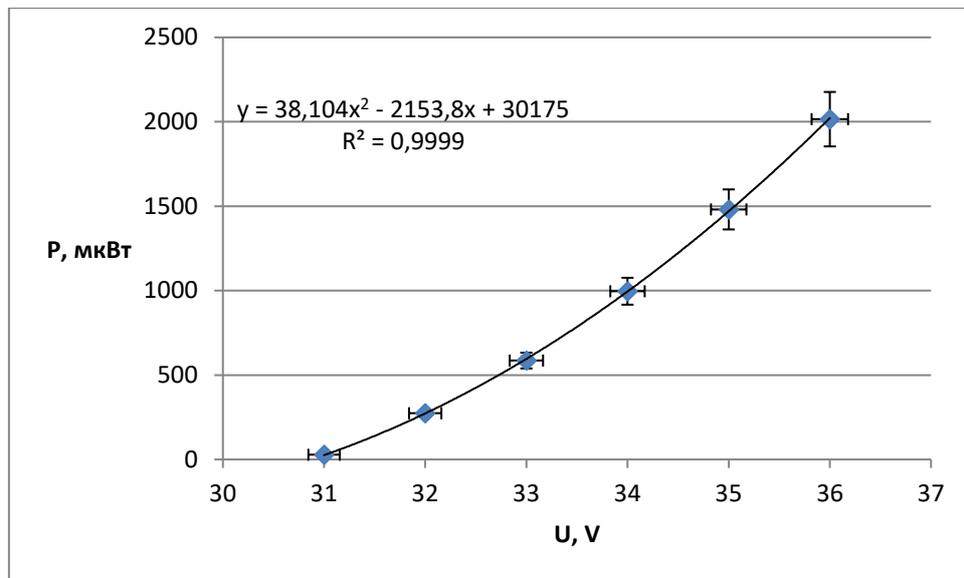


Рисунок 11 – Зависимость приложенного напряжения от мощности падающего излучения.

Таблица 6 – Значения зависимости частоты колебаний структуры от длительности импульса лазера.

| t, мкс | f, кГц |
|-------------|--------|
| 500 | 116 |
| 250 | 100 |
| 100 | 89 |
| 50 | 86 |
| 38,46153846 | 85 |
| 33,33333333 | 85 |
| 25 | 84 |
| 16,66666667 | 83 |

Данные в таблице 6 вычислялись на основе осциллограмм представленных в приложении.

$$f = \frac{1}{T} \quad (12)$$

где f-частота (кГц),

T-период (c^{-1})

$$t = T * 2 \quad (13)$$

где t-длительность импульсов (мкс)

На рисунке 12 представлена зависимость изменения длительности импульса в структуре от частоты оптического сигнала. Данная зависимость характеризует быстродействие прибора, на рисунке видно, что с увеличением частоты генерации оптического сигнала, длительность импульсов структуры увеличивается. По этой причине на исследуемой структуре удалось вычислить длительность импульса до частоты колебаний лазера равной 30кГц (Приложение А). Для применения на больших частотах f колебаний структуры должно быть в 2 и более раз выше частоты оптического сигнала.

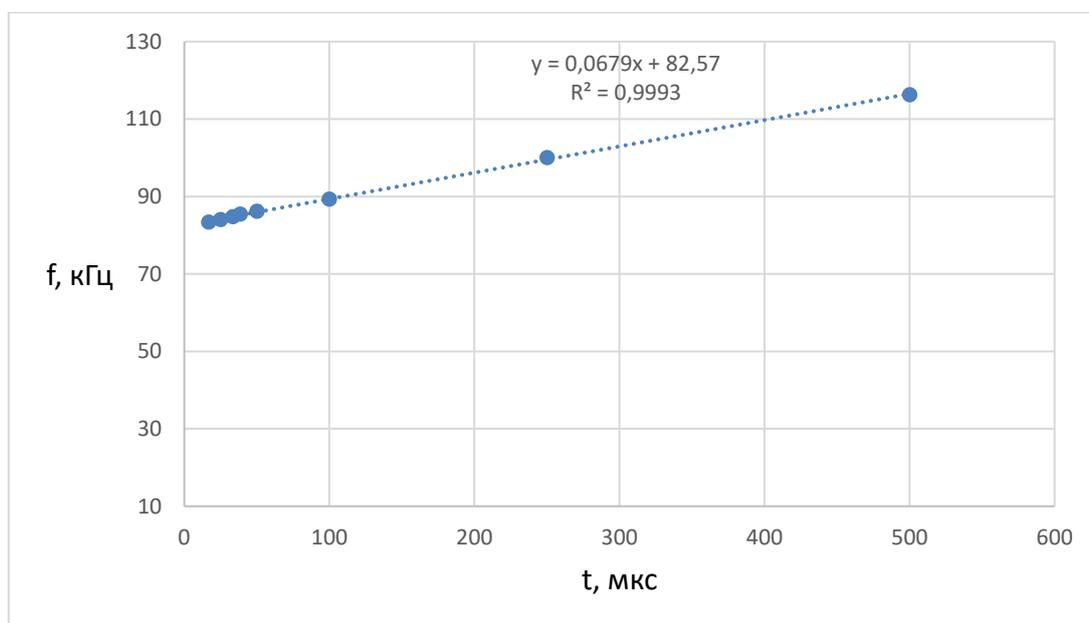


Рисунок 12 – Зависимость частоты колебаний структуры от длительности импульса лазера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы была получена частотно-импульсная модуляция сигнала на выходе полупроводниковой структуры высокоомного AsGa с характерной токовой неустойчивостью в результате импульсной засветки лазерным диодом полупроводниковой структуры, с длиной волны соответствующей диапазону собственного поглощения GaAs. Такая структура может быть использована в качестве детектора лазерного излучения с частотно-импульсной модуляцией на основе высокоомного GaAs. Так же данная структура в определённых сферах деятельности заменить интегральные микросхемы. Данная замена актуальна на сегодняшний день так, как предел уменьшения размеров интегральных микросхем и плотность элементов уже достигнута. По сравнению с интегральными схемами, приборы функционально электроники обладают рядом преимуществ:

1. Простота изготовления.
2. Меньшая вероятность теплового пробоя, отсутствует большая плотность элементов.
3. Меньше вероятность отказов по сравнению с интегральными микросхемами, вследствие малого числа элементов.

Подводя итог вышесказанному можно сделать вывод, что исследуемая структура имеет большую сферу применения.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

