

## **Оптические характеристики однокристалльного функционального генератора на основе высокоомного $n$ -GaAs**

*В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния оптического воздействия на параметры низкочастотных колебаний тока в высокоомном  $n$ -GaAs. Показана функциональность и перспективность применения высокоомных планарно-эпитаксиальных мезоструктур в качестве основы для создания функционального преобразователя свет-частота.*

**Ключевые слова:** рекомбинационная неустойчивость тока, полуизолирующий арсенид галлия, отрицательная дифференциальная проводимость, функциональная электроника

Мы живем в эру цифровой электроники, развитие которой на сегодняшний день тесно связано с возможностями интегральных технологий. Использование возможностей функциональной микроэлектроники позволяет заменить интегральные схемы их функциональными аналогами, что в свою очередь дает очевидные преимущества: меньший размер (более высокая плотность интеграции), простота изготовления, меньшее энергопотребление и др. [1,2]. Для построения функциональных устройств используются нелинейные активные среды. К таким средам, в частности, может быть отнесен арсенид галлия  $n$ -типа, в котором в сильных электрических полях вследствие междолинного переноса электронов возможно возникновение отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) и соответствующей неустойчивости тока (эффект Ганна) [3,4], а также принципиально иной неустойчивости тока – рекомбинационной, обусловленной зависящим от напряженности электрического поля сечением захвата свободных электронов на глубокие акцепторные уровни в объеме полупроводника [5,6], либо перезарядкой поверхностных состояний [7] (поверхностно-барьерная неустойчивость тока).

Использование планарно-эпитаксиальных мезоструктур на основе высокоомного  $n$ -GaAs позволяет получить комбинированное действие двух физических явлений: рекомбинационной неустойчивости тока и внутреннего фотоэффекта. Наши исследования показали, что в данных структурах возможно наблюдение осцилляций тока, параметры которых в существенной степени определяются величиной приложенного напряжения, интенсивностью и локализацией засветки электромагнитным излучением из диапазона длин волн, соответствующих собственному поглощению арсенида галлия [8]. На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости амплитуды токовых колебаний  $I_p$ , среднего значения постоянного тока, протекающего через структуру,  $I_m$  и частоты колебаний  $f$  от приложенного напряжения  $U$  для структур, сформированных на пластинах марки САГ-2БК, с расстоянием между омическими контактами равным 60 мкм в темновом режиме. Колебания регистрировались с помощью датчика тока в виде резистора сопротивлением 100 Ом, включенного последовательно со структурой.

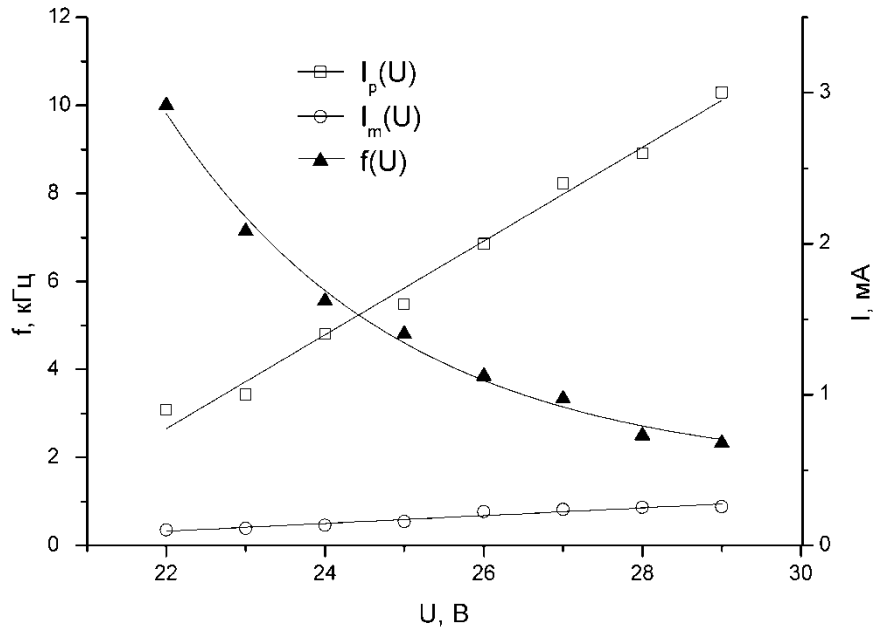


Рисунок 1

Как видно из рис.1, амплитуда токовых колебаний имеет линейную зависимость от напряжения, а частота экспоненциально падает с ростом напряжения. Согласно экспериментальным данным, характер данных зависимостей не изменяется при воздействии на структуру оптическим излучением от лампы накаливания осветительной системы микроскопа.

На рис. 2 приведены сравнительные характеристики экспериментальных зависимостей среднего тока через структуру в до пороговом  $I_1$  и в режиме генерации  $I_2$ , а также частоты  $f$  от интенсивности оптического излучения  $E$  лампы микроскопа.

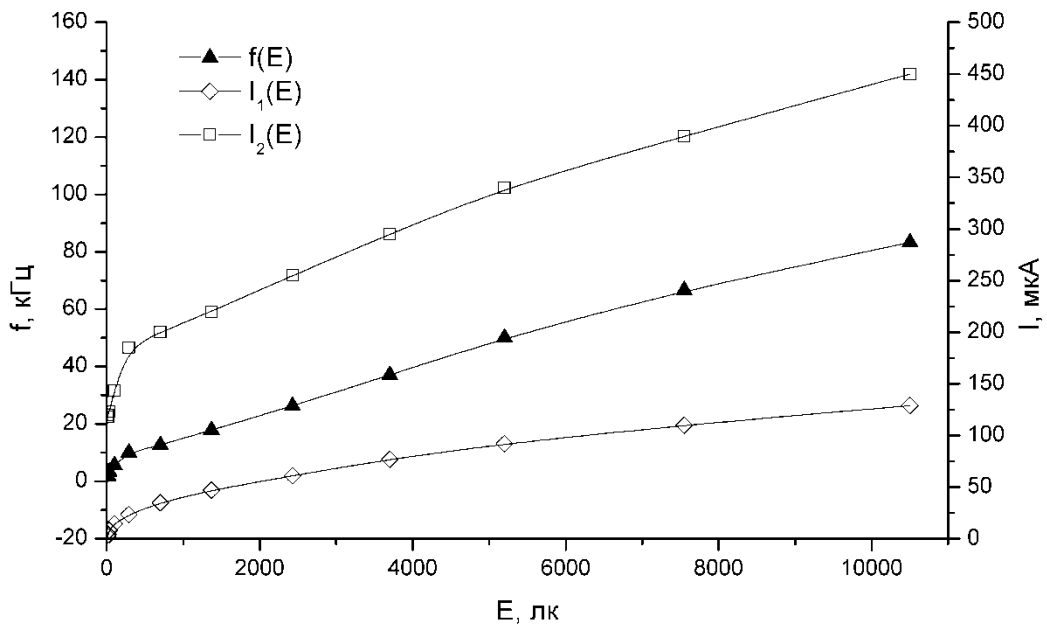


Рисунок 2

Исходя из предположения, что частота рекомбинационных колебаний зависит от величины протекающего через структуру тока, которая в свою очередь определяется количеством генерируемых пар электрон-дырка в результате внутреннего фотоэффекта, зависимость частоты колебаний тока от освещенности должна повторять зависимость фототока от освещенности для GaAs. Из рис. 2 видно, что эти зависимости схожи по своей форме. Согласно экспериментальным данным, амплитуда токовых колебаний имеет слабую зависимость от освещенности и незначительно линейно спадает с ее увеличением.

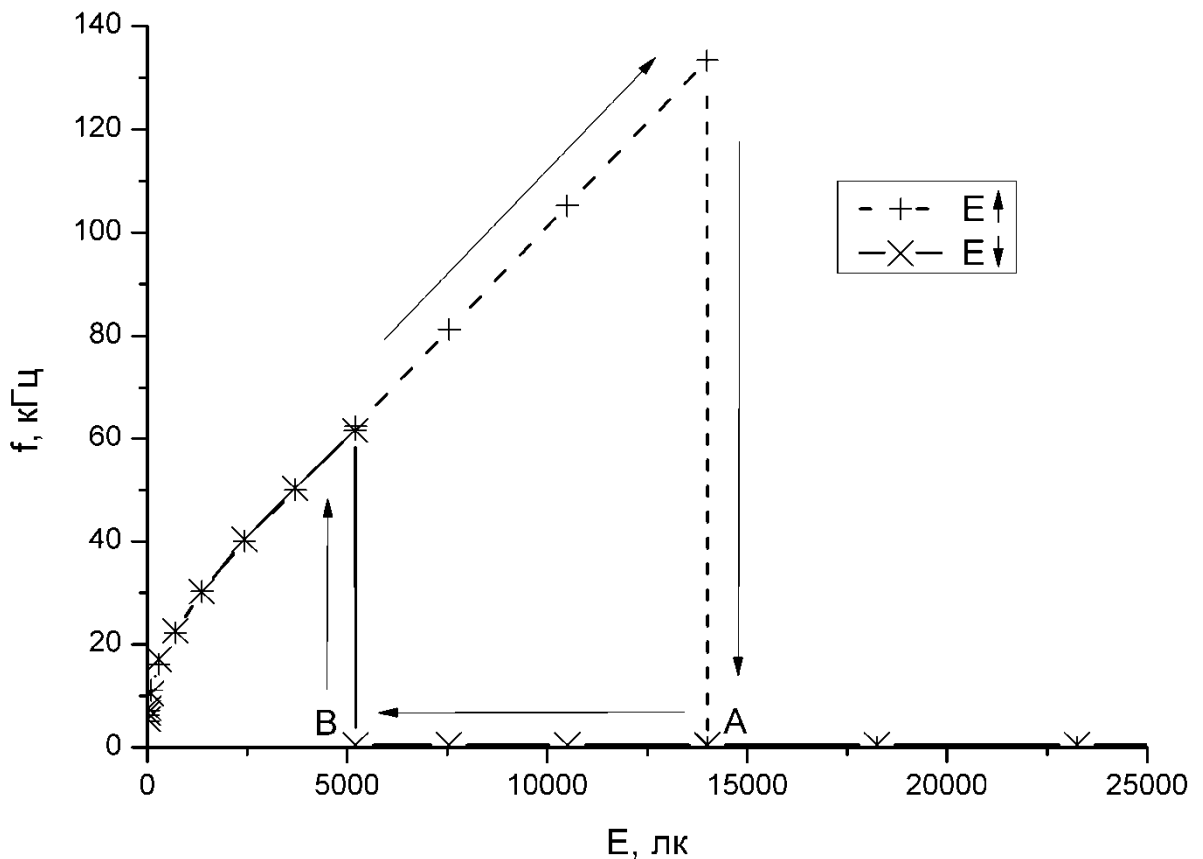


Рисунок 3

В ходе экспериментальных исследований на зависимости частоты токовых колебаний от освещенности части образцов наблюдался участок гистерезиса (рис. 3). Как видно из рис. 3, при превышении некоторого порога освещенности происходит срыв генерации (пунктирная кривая), возобновление которой происходит уже при меньших значениях освещенности (сплошная кривая). При этом положение точек А и В зависит от приложенного напряжения.

На рис 4. приведена соответствующая экспериментальная зависимость среднего тока через структуру от освещенности. На данной зависимости также наблюдается участок гистерезиса в аналогичных точках, что и на зависимости  $f(E)$ . Из данной зависимости видно, что в отсутствие генерации величина среднего ток через структуру превышает величину среднего тока в режиме генерации примерно на 100 мкА.

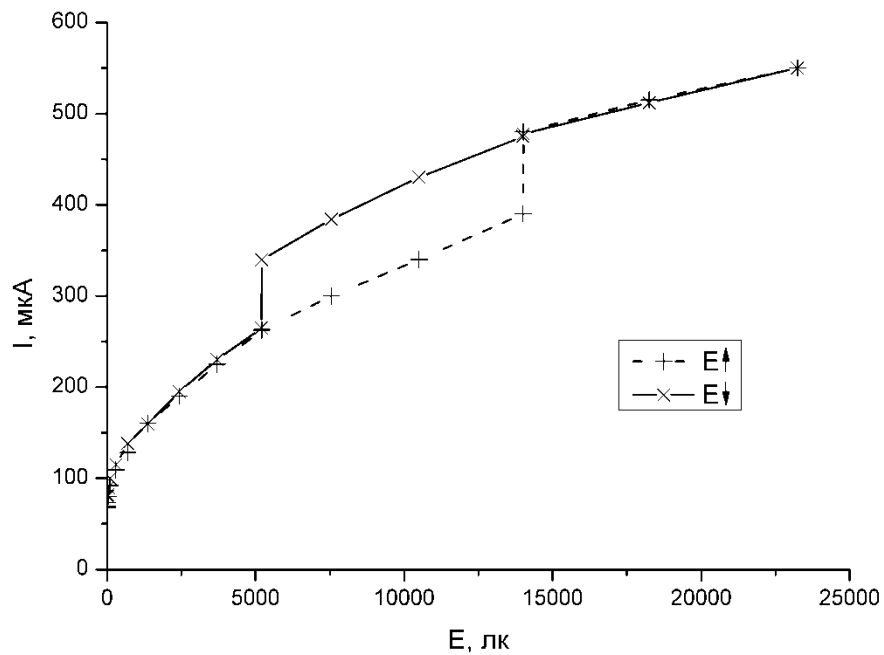


Рисунок 4

Возможность применения рекомбинационной неустойчивости тока в функциональной электронике развили в своих работах Муравский Б. С. и Григорьян Л. Р. и показали высокую функциональность и перспективность применения таких фотопреобразователей на основе кремния в оптоэлектронике [9]. Использование арсенида галлия в качестве материала для функционального фотопреобразователя, в отличие от кремния, представляется более перспективным. Во-первых, чувствительность к видимому, ИК и УФ [10] излучению, в зависимости от структуры и примесного состава, позволяет использовать такие фотопреобразователи в более широком оптическом диапазоне. Кроме того, эпитаксиальные структуры на основе GaAs также применяются в качестве детекторов рентгеновского излучения [11]. Во-вторых, устойчивость к высоким температурам и радиационному воздействию обеспечивает функционирование в условиях, где неприменимы кремниевые фотодетекторы. В-третьих, высокая подвижность электронов и дырок, на порядок превышающая подвижность носителей заряда в кремнии, позволяет увеличить быстродействие прибора. Кроме того, наряду с рекомбинационной неустойчивостью тока, в структурах на основе арсенида галлия возможно наблюдение эффекта Ганна, получение которого в подобных низкоомных структурах может позволить повысить рабочие частоты таких функциональных оптоэлектронных преобразователей.

Приведенные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о том, что планарно-эпитаксиальные мезаструктуры на основе высокоомного *n*-GaAs могут быть использованы для создания функционального однокристалльного преобразователя свет-частота. Главными преимуществами такого прибора являются: более точная регистрация изменений частотного сигнала, чем амплитудного; простота технологии изготовления;

более низкое энергопотребление; возможность цифрового считывания сигнала без АЦП, вносящего погрешности преобразования.

#### Библиографический список

1. *Шука А.А.* Функциональная электроника. – М: МИРЭ, 1998. 235 с.
2. *Гуляев Ю. В.* Акустоэлектроника: (исторический обзор)/ Ю. В. Гуляев // Успехи физических наук. – 2005. – Т. 175. № 8. – С. 887–895.
3. *Левинштейн М. Е.* Эффект Ганна / М. Е. Левинштейн, Ю. К. Пожела, М. С. Шур // М.: Сов. радио. – 1975. – 288 с.
4. *Шур М. С.* Современные приборы на основе арсенида галлия. Пер. с англ. / М. С. Шур, под ред. М.Е. Левинштейна// М.: Мир. – 1991. – 632 с.
5. *Бонч-Бруевич В. Л.* Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках / В. Л. Бонч-Бруевич, И. П. Звягин, А. Г. Миронов // М.: Наука. – 1972. – 416 с.
6. *Neumann A.* Slow domains in semi-insulating GaAs/ A. Neumann // J. Appl. Phys. – 2001. V. 90. № 1. – P. 1–26.
7. *Муравский Б. С.* Неравновесные электронные процессы в транзисторных структурах с туннельно-прозрачным окислом / Б. С. Муравский, В. Н. Черный, И. Л. Яманов [и др.]// Микроэлектроника. 1989. Т. 18. № 4. С. 304–309.
8. *Михайлов А.И.* Особенности возникновения устойчивых колебаний тока большой амплитуды в длинных высокоомных планарно-эпитаксиальных структурах на основе арсенида галлия / А.И. Михайлов, А.В. Митин, И.О. Кожевников // Микроэлектроника СВЧ. Всероссийская конференция. – Санкт-Петербург. СПбГЭТУ. 4-7 июня 2012. – Сборник трудов конференции. – Том 1. – С. 49–53.
9. *Муравский Б. С.* Электрофизические и фотоэлектрические свойства транзисторных структур с распределенным эмиттером и функциональные приборы на их основе / Б. С. Муравский, Г. П. Рубцов, Л. Р. Григорьян, О. Н. Куликов// Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2000. № 10.
10. *Легкий В. Н.* Арсенид галлиевые ФПУ УФ-диапазона для многоспектральных оптоэлектронных систем / В. Н. Легкий, Б. В. Галун, М. В. Киселев, О. П. Толбанов, Д. Ю. Мокеев, А. В. Тяжев // Прикладная физика. – 2011. – №2.
11. *Дворянкин, В.Ф.* Исследование свойств фотовольтаических детекторов рентгеновского излучения на основе эпитаксиальных структур GaAs. / В.Ф. Дворянкин, Ю.М. Дикаев, А.А. Кудряшов // ЖТФ. – 2004. – Т74, №6. – С. 126–128.