

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

---

## **VII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФОТОНИКЕ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ОПТИКЕ**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Москва

УДК 535(06)+004(06)

ББК 72г

Н 34

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФОТОНИКЕ И  
ИНФОРМАЦИОННОЙ ОПТИКЕ: Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ,  
2018. – 608 с.**

Сборник научных трудов содержит доклады, включенные в программу VII Международной конференции по фотонике и информационной оптике, проходившей 24-26 января 2018 г. в г. Москве. Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов: когерентная и нелинейная оптика, оптика кристаллов, волоконная и интегральная оптика, взаимодействие излучения с веществом и оптические материалы, оптическая связь, цифровая оптика и синтез дифракционных оптических элементов, голография и оптическая обработка информации, оптоэлектронные устройства, прикладные вопросы оптики.

Ответственный редактор Родин В.Г.

Статьи получены до 22 ноября 2017 года.

Материалы издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7262-2445-9

© Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ», 2018

Подписано в печать 17.01.2018. Формат 60×84 1/16.

Печ. л. 38. Тираж 300 экз. Заказ №10.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».*

*Типография НИЯУ МИФИ.*

*115409, Москва, Каширское ш., 31*

В.М. КОТОВ, Г.Н. ШКЕРДИН, С.В. АВЕРИН

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН**ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ЛУЧА  
С ВРАЩАЮЩИМСЯ ВЕКТОРОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ**

Предложена методика получения оптического излучения с вращающимся вектором поляризации, основанная на интерференции двух лучей с циркулярными поляризациями и разными частотами. Сдвиг частот между лучами осуществляется посредством акустооптической (АО) дифракции. Метод использован для получения амплитудной модуляции излучения с частотой  $n_f$ , где  $f$  - частота звуковой волны,  $n$  — целое число. Созданы АО модуляторы на основе кристалла парателлурита, с помощью которых оптическое излучение с длиной волны 0,63 мкм промодулировано по амплитуде на учетверенной звуковой частоте. Частота модуляции составила ~180 МГц.

V.M. KOTOV, G.N. SHKERDIN, S.V. AVERIN

*Fryazino Branch of Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of the RAS***FORMING OF THE OPTICAL BEAM  
WITH THE ROTATING POLARIZATION VECTOR**

A method for the optical beam production with the rotating polarization vector based on the interference of two beams with the circular polarizations is proposed. The frequency shift between beams is implemented by means of acousto-optic (AO) diffraction. The method is used for the amplitude light modulation with the frequency  $n_f$  where  $f$  is acoustic frequency and  $n$  is integer. AO modulators are fabricated from paratellurite crystal. Modulators allow modulating the optical radiation with wavelength of 0.63 mcm at the quadruple frequency of the acoustic wave. The modulation frequency achieves 180 MHz.

Одним из важных свойств акустооптического (АО) взаимодействия является простота получения сдвига частоты оптического сигнала на частоту звука, являющийся результатом отражения света от бегущей акустической решетки. Это нашло широкое применение для решения задач оптического гетеродинамирования, в лазерной доплеровской анемометрии и т.д. В ряде наших работ [1-5] эффект сдвига частоты в процессе АО взаимодействия, используемый для амплитудной модуляции оптического излучения, предложен в нескольких вариантах: при сложении двух циркулярно-поляризованных волн, одна из которых

сдвинута на частоту звука; в режиме поляризационно-независимой дифракции; в режиме каскадного накопления сдвига частоты. Во всех случаях формируется луч с вращающимся вектором поляризации, при этом частота вращения определяется частотой звуковой волны. Такое излучение после прохождения его через поляризатор регистрируется фотодетектором в виде электрического сигнала заданной частоты, связанной с частотой звука. На рис. 1 приведена фотография с экрана осциллографа, где регистрируется сигнал вращения вектора поляризации на учетверенной частоте звука.

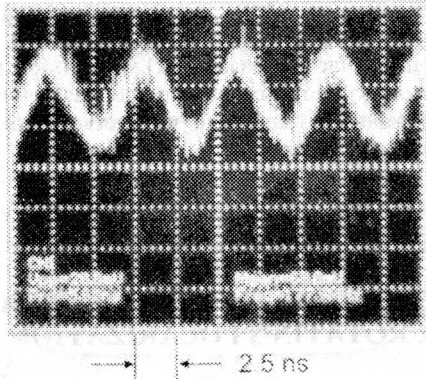


Рис. 1. Фотография электрического сигнала, снимаемого с фотоприемника

*Список литературы*

1. Котов В.М., Аверин С.В., Шкердин Г.Н. Акустооптическая модуляция света на удвоенной звуковой частоте // Квантовая электроника. 2016. Т.46. №2. С.179-180.
2. Котов В.М., Аверин С.В., Котов Е.В. Акустооптическое преобразование частотного сдвига оптического излучения в амплитудно-модулированный сигнал // Прикладная физика. 2016. №3. С.65-68.
3. Котов В.М., Аверин С.В., Котов Е.В., Воронко А.И., Тихомиров С.А. Акустооптический модулятор с вращающимся вектором поляризации на основе гиротропного кристалла // КЭ. 2017. Т.47. №2. С.135-139.
4. Котов В.М., Аверин С.В., Котов Е.В. Акустооптический модулятор оптического излучения на удвоенной звуковой частоте // ПТЭ. 2017. №2. С.94-96.
5. Котов В.М., Котов Е.В. Использование акустооптической ячейки из гиротропного кристалла для амплитудной модуляции оптического сигнала // Оптический журнал. 2017. Т.84. В.6. С.51-53.

С.В. АВЕРИН, П.И. КУЗНЕЦОВ, В.А. ЖИТОВ,  
Л.Ю. ЗАХАРОВ, В.М. КОТОВ

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ZnSe/ZnTe/GaAs ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ И МПМ-ФОТОДЕТЕКТОРА НА ЕЕ ОСНОВЕ

Исследованы структурные, оптические и электрические свойства ZnSe/ZnTe/GaAs гетероструктуры и МПМ-диода на её основе. Для МПМ-диода с шириной встречно-штыревых контактов 2.8 мкм, зазором между ними 2.8 мкм и общей площадью фоточувствительной области детектора  $100 \times 100 \text{ мкм}^2$  плотность темнового тока при комнатной температуре составляет  $10^{-8} \text{ А/см}^2$ . Фотоотклик МПМ-детектора демонстрирует три пика реакции, расположенные на длинах волн 510, 620 нм и 870 нм.

S.V. AVERIN, P.I. KUZNETZOV, V.A. ZHITOV,  
L.Yu. ZAKHAROV, V.M. KOTOV

Fryazino branch of Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of the RAS

### ELECTRICAL, OPTICAL AND SPECTRAL CHARACTERISTICS OF ZnSe/ZnTe/GaAs HETEROSTRUCTURE AND MSM- PHOTODETECTOR ON ITS BASE

Structural, optical and electrical characteristics of ZnSe/ZnTe/GaAs heterostructure and MSM-photodetector on its base have been investigated. Dark current density of the MSM-diode with finger width and gap of 2.8  $\mu\text{m}$  and  $100 \times 100 \text{ }\mu\text{m}^2$  photosensitive area is equal to  $10^{-8} \text{ A/cm}^2$  at room temperature. Spectral characteristic of detector demonstrates three peaks of response located at 510, 620 and 870 nm.

Гетероструктура выращена методом MOCVD путем последовательного осаждения (stacking approach) двенадцати пар слоев ZnSe (15 нм)/ ZnTe (1,8 нм) на полуизолирующей GaAs подложке (300 мкм). Сверху структуры выращивался тонкий покровный слой ZnSe. Состав и толщины отдельных слоев определены методами энергодисперсионного анализа, рамановской спектроскопии и *in situ* рефлектометрии, а оптические свойства изучены по спектрам фотолюминесценции. Качество ростовой поверхности оценено с помощью атомно-силовой микроскопии на приборе SmartSPM (AIST-NT).

Шероховатость ростовой поверхности  $20 \times 20 \text{ мкм}^2$  составила  $\sim 15 \text{ нм}$ . На выращенной гетероструктуре методами фотолитографии были сформированы встречно-штыревые контакты МПМ-детектора с шириной контактов  $2.8 \text{ мкм}$ , расстоянием между ними  $2.8 \text{ мкм}$  и общей площадью фоточувствительной области детектора  $100 \times 100 \text{ мкм}^2$ . В качестве металла барьера контакта Шоттки использовалась пара Ni-Au. Измерение ВАХ показало, что детектор на основе сверхрешетки ZnSe/ZnTe обладает низкими темновыми токами даже при больших напряжениях смещения. При смещении  $40 \text{ В}$  темновой ток диода составляет  $10^{-12} \text{ А}$ , что на два порядка величины меньше, чем у AlGaIn МПМ-детектора с той же геометрией контактов [1].

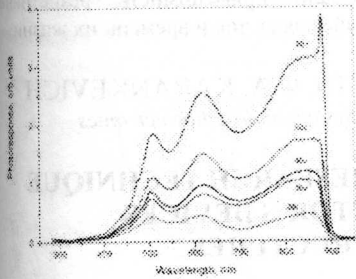


Рис. 1. Спектральный отклик МПМ-детектора

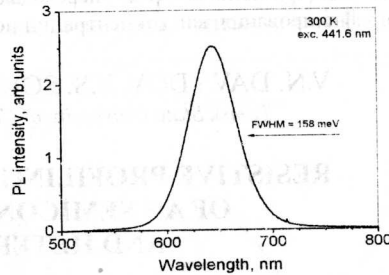


Рис. 2. Спектр сигнала PL сверхрешетки ZnSe/ZnTe

Спектральная характеристика МПМ-диода (рис. 1) демонстрирует возможность детектирования трех отдельно стоящих длин волн излучения видимого и инфракрасного участка спектра на одной фотодиодной структуре. Отклик детектора на  $620 \text{ нм}$  почти совпадает с сигналом фотолюминесценции сверхрешетки ZnSe/ZnTe (рис. 2). Увеличение смещения с  $20$  до  $50 \text{ В}$  приводит к сдвигу максимальной фоточувствительности на длину волны  $\sim 870 \text{ нм}$  с последующим резким спадом. При больших смещениях удается исключить блокирующее действие гетеробарьера на границе раздела ZnSe/GaAs и детектор обеспечивает эффективный сбор фотоносителей из низлежащего GaAs. Отклик МПМ-диода на длине волны  $620 \text{ нм}$  соответствует ампер-ваттной чувствительности  $0.2 \text{ А/Вт}$  и внешней квантовой эффективности  $\text{EQE} = 38\%$ . С учетом потерь  $50\%$  излучения за счет отражения от встречно-штыревых контактов диода, внутренняя квантовая эффективность детектора близка к теоретической.

*Список литературы*

1. Averin S.V., Kuznetsov P.I., Zhitov V.A., et al. // Solid State Electronics. 2008. V.52. P.618.