

Е.Р. БУРМИСТРОВ^{1,2,3}, Л.П. АВАКЯНЦ¹¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»³Московский государственный строительный университет

ЭФФЕКТИВНАЯ МАССА ОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В СВЕТОДИОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ С РЕШЕТЧАТЫМ ЗАТВОРОМ ПО ДАННЫМ THz–TDS

Гетероструктуры со множественными квантовыми ямами $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ используются в режиме плазмонного детектирования терагерцевого излучения. Генерация двумерных плазмонов проводится методом терагерцовой спектроскопии с временным разрешением (THz–TDS). Источником излучения служит Ti-сапфировый лазер с длительностью импульсов 130 фс. В качестве структуры, связывающей электрическое поле плазмона с полем терагерцевого излучения, используется решетчатый затвор с Ti/Au контактами, выращенный методом электронно-лучевой литографии на поверхности гетероструктуры.

E.R. BURMISTROV^{1,2,3}, L.P. AVAKYANTS²¹Lomonosov Moscow State University²National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)³Moscow State University of Civil Engineering

THE EFFECTIVE MASS OF THE MAIN CHARGE CARRIERS IN $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ LED'S HETEROSTRUCTURES WITH A GRATING COUPLER ACCORDING TO THz–TDS DATA

Heterostructures with $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ multiple quantum wells are used for plasmon detection of terahertz radiation. Two-dimensional plasmons are generated by time-domain terahertz spectroscopy (THz–TDS). The radiation source is a Ti-sapphire laser with a pulse duration of 130 fs. A grating coupler with Ti/Au electrodes grown by electron beam lithography on the surface of the heterostructure is used as a structure connecting the electric field of the two-dimensional plasmon with field of THz radiation.

В последнее время в полупроводниковых гетероструктурах активно изучается плазмонное детектирование терагерцевого излучения ($\sim 10^{12}$ Гц) [1, 2]. Поскольку длина волны двумерного плазмона на три порядка меньше, чем длина волны терагерцевого излучения (ТГц), необходима структура, связывающая электрическое поле терагерцевого излучения с электрическим полем двумерного плазмона. В качестве такой структуры в последнее время активно используются решётчатые затворы [3]. Выращенные на поверхности гетероструктур такие затворы усиливают

локализованные плазмонные осцилляции, связанные с коллективным движением основных носителей заряда в множественных квантовых ямах.

Целью данной работы является определение методом терагерцевой спектроскопии с временным разрешением (THz-TDS) времени релаксации квазиимпульса, подвижности и эффективной массы основных носителей заряда в гетероструктурах InGaN/AlGaIn/GaN со множественными квантовыми ямами. Для этих гетероструктур на подложке Al_2O_3 наращивался затравочный слой GaN толщиной 5 мкм. и формировалась буферная сглаживающая сверхрешётка InGaIn/GaN. Активная область гетероструктур состоит из трёх квантовых ям $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$. Следующим формировался слой AlGaIn. В качестве структуры, связывающей электрическое поле плазмона с электрическим полем ТГц-излучения, использовался решётчатый затвор, состоящий из Ni/Au контактов с периодом 500 нм, выращенный на поверхности гетероструктуры AlGaIn/GaN. Источником излучения является титан-сапфировый лазер на длине волны 800 нм со средней выходной мощностью излучения 57 мВт и с частотой следования импульсов равной 60 МГц. Для генерации и детектирования ТГц-излучения использовались две фотопроводящие антенны из низкотемпературного GaN. Одна из них применялась в качестве детектора ТГц-импульсов, другая – для преобразования подаваемых на неё фемтосекундных лазерных импульсов в ТГц электромагнитные волны. Генерация и детектирование 2D плазмонных осцилляций осуществлялась методом THz–TDS. Временные формы ТГц-импульсов были получены в геометрии на прохождение. При этом электрическое поле плазмона локализуется под металлическими полосами решётчатого затвора, а плазмон возбуждается в режиме «сильной связи».

Быстрое преобразование Фурье временных форм позволило получить частотные спектры мощности и фазового сдвига терагерцевого излучения, интерпретация которых дала возможность оценить время релаксации квазиимпульса ($\sim 10^{-12}$ с), подвижность ($\mu = 4 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$) и эффективную массу ($m^* = 0,21m_0$) основных носителей заряда в исследованных гетероструктурах. С помощью серии частотных спектров мощности и фазового сдвига ТГц-излучения получены температурные зависимости электронной эффективной массы и времени релаксации квазиимпульса в квантовых ямах $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$. Значение подвижности, полученное методом THz–TDS, хорошо согласуется с данными холловских измерений.

Список литературы

1. Popov V.V. // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. 2011. V. 32. P. 1178.
2. Schuster F., Coquillat D., Videlier H., et al. // Optics Express. 2011. V. 19. P. 7827.
3. Pashnev D., Kaplas T., Korotyeyev V.V., et al. // Appl. Phys. Lett. 2020. V. 117. P. 051105.