Терагерцовое излучение неравновесных 2D плазмонов из наногетероструктуры AlGaIn/GaN

Молдавская М.Д.¹, Шалыгин В.А.¹, Винниченко М.Я.¹, Паневин В.Ю.¹, Маремьянин К.В.², Воробьев Л.Е.¹, Фирсов Д.А.¹, Korotuyev V.V.³, Suihkonen S.⁴, Kauppinen C.⁴, Сахаров А.В.⁵, Заварин Е.Е.⁵, Артеев Д.С.⁵, Лундин В.В.⁵

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251 С.-Петербург, Политехническая, 29

² ИФМ РАН, 603950 Нижний Новгород, ГСП-105

³ Department of Theoretical Physics, Institute of Semiconductor Physics NASU, 03028 Kyiv, Ukraine

⁴ Department of Electronics and Nanoengineering, Aalto University, 02150 Espoo, Finland

⁵ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021 С.-Петербург, ул. Политехническая, 26

DOI 10.34077/Semicond2019-207

Плазмоника является быстро развивающейся областью науки и техники. В частности, интерес представляет возможность получения эмиссии терагерцового (ТГц) излучения при возбуждении 2D плазмонов. С одной стороны, уже создан ряд эмиттеров, основанных на возбуждении когерентных 2D плазмонов и обеспечивающих довольно широкую полосу ТГц излучения [1]. С другой стороны, могут быть созданы узкополосные источники ТГц излучения, принцип действия которых базируется на возбуждении некогерентных 2D плазмонов. Подобные эксперименты ранее проводились с неравновесными 2D плазмонами в кремниевых МОП-транзисторах и в гетероструктурах AlGaAs/GaAs [2]. Недавно была предпринята попытка получить селективное ТГц излучение при возбуждении электрическим полем некогерентных 2D плазмонов в гетероструктуре AlGaIn/GaN [3]. В этой работе был зарегистрирован лишь слабый пик излучения, соответствующий рассеянию 2D плазмонов, амплитуда которого не превышала 20% от широкополосного фоновых сигнала, обусловленного джоулевым разогревом образца.

В настоящей работе исследована эмиссия ТГц излучения из наногетероструктуры AlGaIn/GaN/Al₂O₃ с периодической металлической решеткой на поверхности в условиях разогрева 2D электронов латеральным электрическим полем. Основной акцент сделан на создании существенно неравновесных условий, когда эффективные температуры 2D электронов и 2D плазмонов в несколько раз превышают температуру кристаллической решетки. Это позволило наблюдать и исследовать высокодобротные пики интенсивного ТГц излучения, соответствующие 2D-плазмонному резонансу. Предварительно теоретически моделировались спектры ТГц пропускания, отражения и поглощения структур. С точки зрения исследования 2D плазмонов интерес представляют спектры для излучения, линейно поляризованного перпендикулярно металлическим полоскам решетки. Главная особенность – это провалы в спектре пропускания и пики в спектре поглощательной (излучательной) способности при частотах, соответствующих модам 2D-плазмонного резонанса. Дизайн структур оптимизировался с целью обеспечить максимальную амплитуду основной моды 2D плазмонов при условии её попадания в полосу чувствительности детектора Ge:Ga. Эксперименты проводились на образцах с различными периодами решетки, а также на реперных образцах без решетки. Исследование спектров пропускания при разных температурах, а также спектров ТГц электролюминесценции (ЭЛ) при варьировании поля позволило однозначно идентифицировать моды 2D плазмонов. Исследование интегральной интенсивности ЭЛ при разных уровнях возбуждения, а также вольт-амперных характеристик позволило определить эффективные температуры 2D электронов и плазмонов в зависимости от поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-02-00848).

[1] T. Otsuji, et al., *J. Phys.: Condens. Matter*, **20**, 384206 (2008).

[2] K. Hirakawa, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 2326 (1995).

[3] V. Jakštas et al., *Appl. Phys. Lett.*, **110**, 202101 (2017).