

ЭМИССИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ n-GaAs/AlGaAs В УСЛОВИЯХ ПРОБОЯ ПРИМЕСИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

В последнее время интенсивно изучается возможность создания источников терагерцового (ТГц) излучения на основе полупроводников и полупроводниковых структур с мелкими примесями. В работе [1] были представлены результаты первых экспериментов по наблюдению электролюминесценции ТГц диапазона в квантовых ямах GaAs/AlGaAs, легированных кремнием. В данной работе проведены детальные исследования этих же наноструктур, нацеленные на определение механизма эмиссии излучения в латеральном электрическом поле.

Исследована температурная зависимость электропроводности квантовых ям n-GaAs/AlGaAs в слабых электрических полях. Показано, что при температурах ниже 15 К основным механизмом электропроводности является прыжковая проводимость, при более высоких температурах происходит ионизация примеси.

При температурах жидкого гелия и жидкого азота исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) структур в широком диапазоне электрических полей (рис. 1).

При температуре жидкого азота все примеси полностью ионизованы, и ВАХ практически линейна во всем диапазоне полей. При температуре жидкого гелия ВАХ близка к линейной только в очень слабых и в очень сильных полях, а в промежуточной области наблюдается сверхлинейный рост плотности тока, обусловленный примесным пробоем, причем электропроводность увеличивается почти на порядок. В слабых полях протекание тока обусловлено прыжковой проводимостью по примесным уровням, причем концентрация электронов на этих уровнях остается неизменной.

В области сильных полей, когда все примеси уже ионизованы, электропроводность обусловлена только свободными электронами в первой подзоне размерного квантования. В промежуточной области полей идут процессы ударной ионизации.

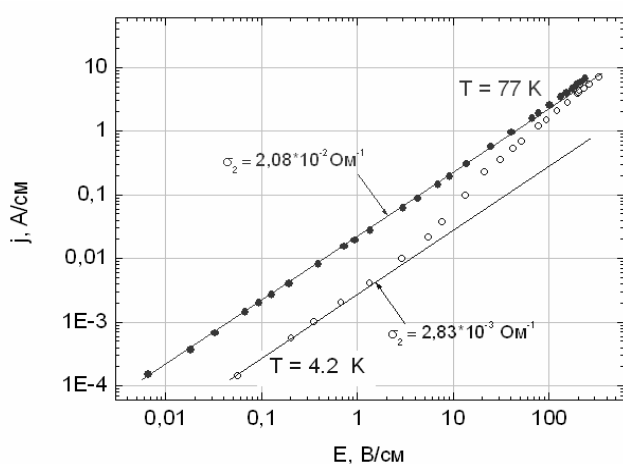


Рис. 1. Вольтамперные характеристики n-GaAs/AlGaAs

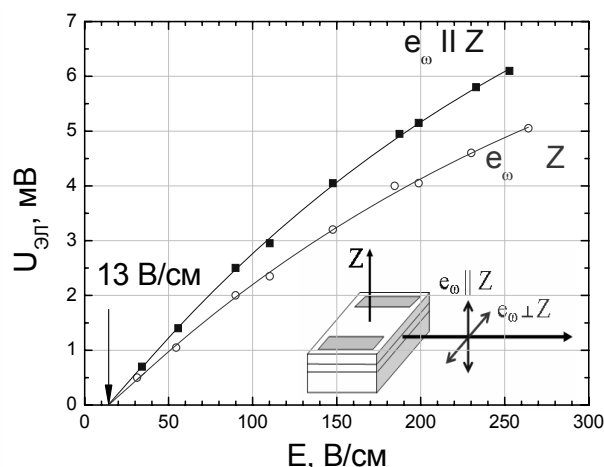


Рис. 2. Полевая зависимость интегральной интенсивности электролюминесценции для двух поляризаций. Внизу показана геометрия эксперимента (e_{ω} – вектор поляризации света, Z – направление роста структуры)

На основании анализа ВАХ определена зависимость концентрации свободных электронов в первой подзоне от напряженности латерального электрического поля (см. рис. 3). Количественный анализ ВАХ позволяет определить, как меняется концентрация носителей в первой подзоне с электрическим полем. Полная проводимость структуры может быть представлена в следующем виде:

$$\sigma = \frac{j}{E} = \sigma_{2im} + \sigma_{2QW} = e \cdot \mu_{im} \cdot N \cdot d_{im} + e \cdot \mu_n \cdot n \cdot d_{QW},$$

где σ_{2im} – поверхностная проводимость легированного слоя, σ_{2QW} – поверхностная проводимость квантовой ямы по первой подзоне размерного квантования, μ_{im} и N – подвижность и объемная концентрация электронов, определяющие проводимость по примесным уровням; μ_n и n – подвижность и объемная концентрация электронов в первой подзоне размерного квантования, d_{QW} и d_{im} – ширина квантовой ямы и легированного слоя, соответственно. Рассматривая предельные случаи слабых и сильных полей, можно по экспериментальным кривым найти подвижности носителей в легированном слое и в первой подзоне размерного квантования, а зная подвижности, можно найти, как меняется концентрация носителей в первой подзоне с ростом электрического поля:

$$\frac{n}{n_{\max}} = \frac{\frac{j}{E \cdot e \cdot n_{\max}} - \mu_{im} \cdot d_{im} \cdot \frac{N_D}{n_{\max}}}{\mu_n \cdot d_{QW} - \mu_{im} \frac{d_{im}^2}{d_{QW}}},$$

где N_D - концентрация доноров, $n_{\max} = N_D (d_{im} / d_{QW})$.

В области примесного пробоя исследована зависимость интегральной интенсивности ТГц излучения от приложенного поля. В качестве фотоприемника использовался кристалл Ge:Ga.

Проведены также поляризационные и спектральные исследования электролюминесценции (рис. 2), позволяющие выявить вклады в эмиссию излучения как межподзонных переходов электронов, так и переходов между резонансными и локализованными состояниями доноров. Проведенные исследования указывают на перспективность использования наноструктур с легированными квантовыми ямами для создания эмиттеров терагерцового излучения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.С.Загайнова, Д.В.Цой, Г.А.Мелентьев, В.А.Шальгин, 8-ая всеросс. молодежн. конф. по физике полупроводн. и полупроводн. опто- и нанoeлектронике, С.-Петербург, 4-8 декабря 2006 г. Тезисы докладов, с.54.

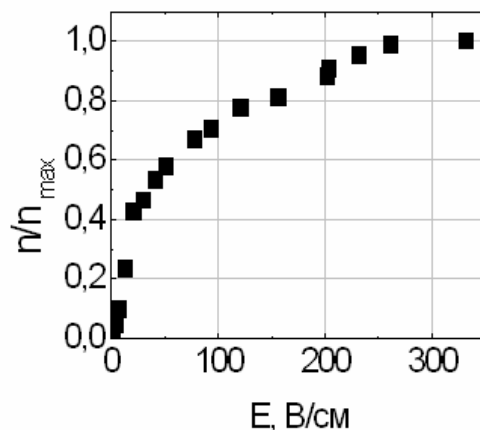


Рис. 3. Зависимость концентрации носителей в первой подзоне от приложенного электрического поля