

Спектральные характеристики непрерывных терагерцовых квантово-каскадных лазеров, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии

Д. А. Белов^{1*}, А. В. Иконников¹, Д. Р. Хохлов¹, Д. В. Ушаков², А. А. Афоненко²,
И. Е. Мартычев³, Т. А. Багаев³, А. А. Мармалюк³, М. А. Ладугин³, А. Ю. Павлов⁴,
Р. Р. Галиев⁴, Д. С. Пономарев⁴, Р. А. Хабибуллин⁴

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991

²Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск, 220070, Беларусь

³НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха, ул. Введенского, 3, корп. 1, Москва, 117342

⁴Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН, Нагорный пр., 7, Москва, 117105

*belov.da17@physics.msu.ru

В работе исследовались характеристики первых непрерывных терагерцовых квантово-каскадных лазеров (ТГц ККЛ), выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии. Лазеры на основе активной области из GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As имели двойной металлический волновод из золота и были выполнены в виде полосков шириной 20 и 40 мкм и длиной 1 мм. Дизайн активной области был основан на каскаде из 4 квантовых ям с толщиной периода около 64 нм и спроектирован под высокочастотную генерацию в диапазоне 4,3–4,7 ТГц. Лазерная структура содержала 157 периодов, что соответствует толщине активной области 10 мкм. Время роста такой структуры методом МОС-гидридной эпитаксии составляло около 12 часов. Изучалась работа ТГц ККЛ как в непрерывном, так и в импульсном режимах с длительностями импульсов до 100 мкс. Наряду со спектрами излучения ККЛ в работе представлены их излучательные и вольт-амперные характеристики.

Спектр, измеренный в непрерывном режиме — эквидистантный, состоящий из нескольких соседних продольных мод Фабри — Перо с межмодовым расстоянием около 42 ГГц, с центральной частотой около 4,5 ТГц (см. рис. 1, а). При увеличении рабочего напряжения наблюдается «перекачка» интенсивности излучения в более высокочастотные моды, что связано со смещением максимума усиления активной области. При значениях напряжения около 10,5 В генерация становится одномодовой на частоте 4,5 ТГц.

Спектры, измеренные в импульсном режиме, отличаются от непрерывных. В спектре лазера с узким полоском остаются лишь высокочастотные моды в окрестности 4,6 ТГц с межмодовым расстоянием около 45 ГГц, в то время как спектр ККЛ с широким полоском расширяется в область низких частот и охватывает диапазон от 3,9 до 4,6 ТГц (см. рис. 1, б). Максимальная рабочая температура в импульсном режиме составляет около 60 К, в то время как непрерывная генерация наблюдается при температурах не выше 20 К в силу недостаточного теплоотведения используемого криостата. Кроме того, как в непрерывном, так и в импульсном режиме наблюдается собственная перестройка линий генерации изменением напряжения в диапазоне около 6 ГГц.

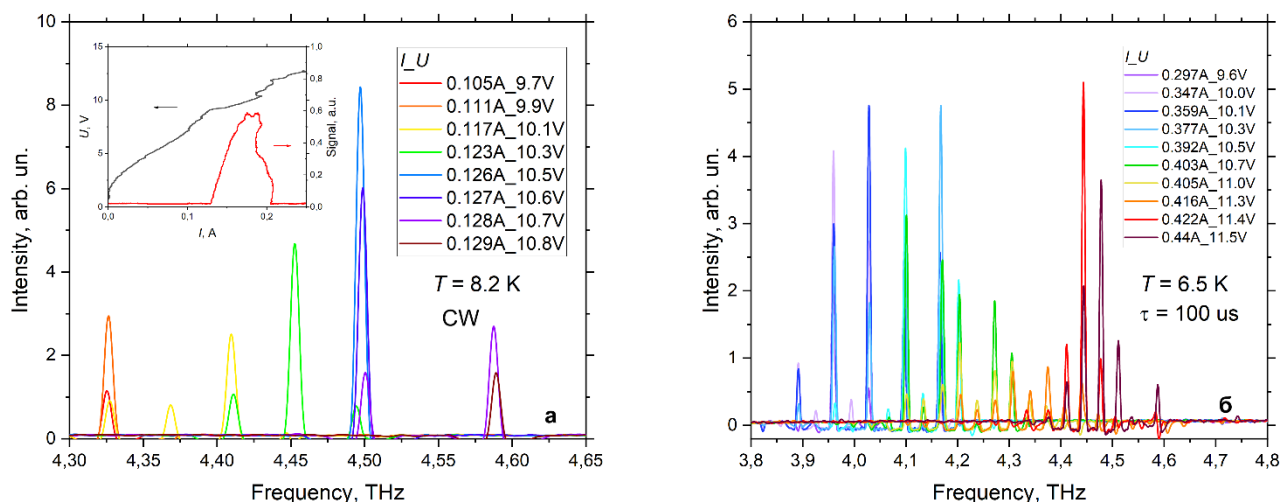


Рис. 1. Спектральные характеристики непрерывного ТГц ККЛ, выращенного методом МОС-гидридной эпитаксии, при температуре 8.2 К со сканированием по рабочему напряжению (а). На вставке: вольт-амперная и излучательная характеристики ККЛ при температуре 4,2 К, измеренные в импульсном режиме с длительностью импульса 10 мкс и частотой повторения 100 Гц. Спектры излучения «широкого» ТГц ККЛ в импульсном режиме с длительностью импульса 100 мкс и частотой повторения 1 кГц при температуре 6,5 К со сканированием по току (б)

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-91-06600. Д. А. Белов благодарит за поддержку фонд «БАЗИС» (грант № 23-2-10-29-1).