

ФАЗОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ В РЕЖИМЕ ВНЕШНЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

А. А. Афоненко¹, Е. С. Дорогуш, С. А. Малышев², А. Л. Чиж²

¹Белорусский государственный университет, Минск

²Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

E-mail: afonenko@bsu.by, chizh@ieee.org

Теоретические и экспериментальные исследования продемонстрировали ряд преимуществ использования режима внешней оптической синхронизации лазерного диода в волоконно-оптических системах связи, такие как увеличение предельной частоты прямой модуляции и уменьшение шума интенсивности [1]. Под внешней оптической синхронизацией понимается инжекция излучения задающего лазера в резонатор ведомого лазера, при которой ведомый лазер начинает генерировать излучение на частоте задающего лазера. При прямой токовой модуляции лазерных диодов одновременно с амплитудной модуляцией происходит фазовая модуляция выходного излучения, что в ряде приложений является нежелательным фактором.

В работе проанализированы фазово-частотные характеристики четырех типов лазерных диодов: с распределенной обратной связью за счет показателя преломления (DFB) и поглощения (DFB-A), с резонатором Фабри–Перо, образованным зеркалами за счет френелевского отражения на границе полупроводник–воздух (FP) и высокоотражающими и просветляющими покрытиями на торцевых гранях (FP HR/AR). Расчеты выполнены на основе системы связанных укороченных уравнений для полупроводниковых инжекционных лазеров, учитывающих продольную неоднородность поля и концентрации носителей в активной области [2]. В расчетах анализировались структуры с длиной резонатора 300 мкм, шириной активной области – 2.5 мкм. Пороговый ток всех структур составлял около 6 мА, длина волны генерации – 1550 нм.

В расчетах считалось, что модуляция тока инжекции происходит в режиме малого сигнала:

$$I(t) = I_0 + I_m e^{i\Omega t} + I_m^* e^{-i\Omega t}, \quad (1)$$

а амплитуда выходного излучения имеет вид

$$A(t) = A_0 \left(1 + \left(a_m e^{i\Omega t} + a_m^* e^{-i\Omega t} \right) \right) \exp \left(i \left(\varphi_m e^{i\Omega t} + \varphi_m^* e^{-i\Omega t} \right) \right), \quad (2)$$

где A_0 – стационарная амплитуда излучения, I_m , a_m и φ_m – модуляционные составляющие тока инжекции, амплитуды и фазы излучения, Ω – частота модуляции.

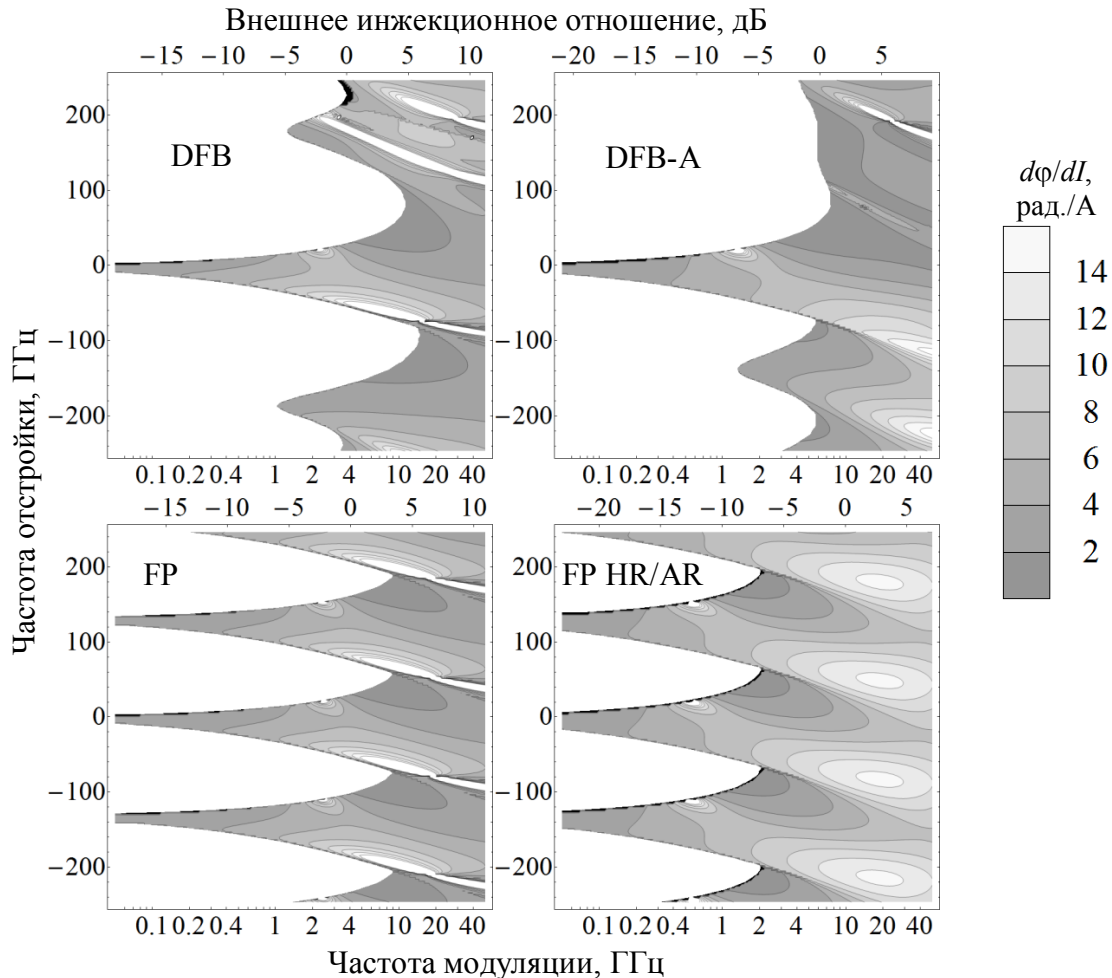


Рис. 1. Эффективность фазовой модуляции лазерного диода $d\phi/dI = |\phi_m/I_m|$ на частоте 25 ГГц при токе накачки 20 мА в режиме внешней оптической синхронизации с различными мощностями и частотами отстройки инжектируемого излучения

Расчеты показали, что большие (>100 рад./А) коэффициенты фазовой модуляции реализуются при мощностях внешнего синхронизирующего лазерного излучения, не превышающих мощность полной синхронизации, когда модуляционные характеристики имеют резонансный вид (рис. 1). В режиме сильной оптической инжекции эффективность фазовой модуляции не высока, например, на частоте модуляции 25 ГГц составляет около 10 рад./А для всех структур. Частоты обстройки синхронизирующего излучения, соответствующие максимальным эффективностям амплитудной и фазовой модуляции не совпадают.

1. Lau E. K., Wong L. J., Wu M. C. // IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., 15, 3, 618 (2009).
2. Афоненко А. А., Мальшев С. А., Чиж А. Л. // Сб. статей 9-го Белорусско-российского семинара "Полупроводниковые лазеры и системы на их основе" (Минск, 28–31 мая 2013). Минск, 2013. С. 77–80.