

ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СДВИГА ФАЗЫ В ЛАЗЕРНОМ УСИЛИТЕЛЕ НА InGaAsP/InP

Бу Ван Лык, П.Г. Елисеев, М.Ф. Цоцория

Предложена методика измерения сдвига фазы волны в полупроводниковом лазерном усилителе на бегущей волне. Интерферометром служил усилительный диод, в котором часть излучения проходила вне активной области и играла роль опорной волны. Скорость изменения показателя преломления с током накачки составила $(-3,5 \div -4,6) \times 10^{-4} \text{ мА}^{-1}$.

Количество свободных носителей определяет комплексную диэлектрическую проницаемость полупроводника. Поэтому в оптическом усилителе на основе инжекционного лазера ток накачки влияет не только на амплитуду, но и на величину набега фазы волны /1/. Детальное описание этого влияния требует знания характеристик активной среды усилителя, в частности, зависимости концентрации носителей от тока накачки и зависимости показателя преломления от концентрации носителей. В регенеративных усилителях изучение этих характеристик можно осуществить исследованием сдвига резонансных длин волн /2/, а в усилителях бегущей волны (УБВ) необходимо использовать какую-либо интерферометрическую схему. В настоящем сообщении описана простейшая методика прямого измерения сдвига фазы в лазерном УБВ на основе заращенной мезаполосковой гетероструктуры InGaAsP/InP на длине волны 1,3 мкм /3/.

Суть методики измерений состоит в том, что в качестве интерферометра используется сам лазерный диод, следовательно, не требуется внешней интерферометрической схемы. Усилительный диод с просветленными торцами согласуется с обеих сторон с одномодовыми волоконными световодами с помощью микролинз на торцах световодов. Юстировка осуществляется таким образом, чтобы на выходе устройства определенный сигнал наблюдался при выключенном усилителе. Этот сигнал свидетельствует о наличии опорной волны, проходящей через прозрачные области (InP) усилительного диода и, следовательно, не зависящей от тока накачки. В то же время сигнал, попадающий в активный волновод, значительно ослабляется в нем при выключенном токе накачки вследствие межзонного поглощения. По мере увеличения тока на выходе усилителя появляется волна, прошедшая через активную среду. Ее интерференция с опорной волной (смещение происходит в выходном световоде) может быть зарегистрирована. В отличие от обычного сигнала УБВ, в данном случае имеют место осцилляции выходного сигнала в некотором интервале

тока накачки, где опорная и усиленная волна имеют сравнимые интенсивности. Наблюдение этих осцилляций позволяет определить зависимость набега фазы усиленной волны от тока (сдвиг фазы нарастает на 2π между двумя последовательными максимумами или минимумами выходного сигнала).

Настоящая методика применена для измерения сдвига фазы в двух образцах усилительного лазерного диода на длине волны 1,3 мкм, устройство которого описано в /4/. Активный элемент имел зарощенную мезаполосковую геометрию и просветленные торцы (коэффициент остаточного отражения $\sim 0,5\text{--}3\%$). Длина резонатора первого диода была равна 270 мкм, второго — 266 мкм, пороговые токи после просветления торцов при комнатной температуре 50 мА и > 100 мА, а токи накачки, соответствующие порогу инверсии (определенные по методике электрической диагностики режимов усилителя /5/), составили 16 мА и 26,5 мА. Эмиттерные области и области зарощивания были образованы из InP. Путем юстировки световодов относительно диода был получен опорный сигнал, наблюдаемый при выключенном усилителе, а также подтверждено прохождение части сигнала через усилительный волновод (рис. 1).

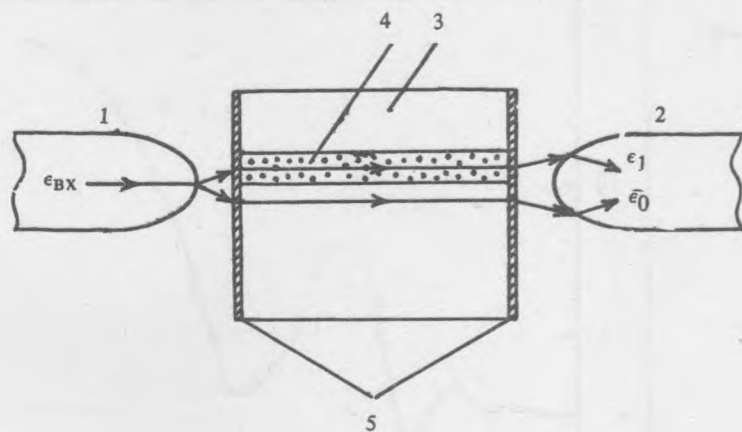


Рис. 1. Схема интерферометра: 1 — входной одномодовый волоконный световод; 2 — выходной волоконный световод; 3 — усилительный диод; 4 — активный волновод; 5 — антиотражающие покрытия.

В определенном интервале тока накачки обнаружены колебания выходной мощности усилителя, вызванные зависимостью разности фаз между усиливаемой и опорной волнами от тока. Эту зависимость можно представить в виде: $\Delta\varphi(I) = 2\pi(n - \Delta n(I) - n_0)l/\lambda + \theta_0$, где $n - \Delta n(I)$ и n_0 — показатели преломления в активном волноводе и подложке, соответственно, l — длина диода, θ_0 — начальная разность фаз между двумя волнами (обусловленная различием оптических путей от микролинзы к диоду для двух волн). Экстремумы кривой выходной мощности соответствовали значениям разности фаз $\Delta\varphi = m\pi$ (где m — целое число). На рис. 2 представлены зависимости $\Delta\varphi$ от тока накачки для первого (кривая 1) и второго (кривые 2—4) усилителей. Кривые 2—4 отличаются

разным соотношением амплитуд полей опорной и усиливаемой волн, которое достигалось последовательной разъюстировкой входного световода относительно оптимального положения (т.е. такого, при котором излучение наиболее эффективно вводится в активный волновод усилителя, а опорный пучок отсутствует). При вертикальной разъюстировке меняется и величина θ_0 , что отражено на рис. 2 некоторым сдвигом кривых 2—4 друг относительно друга. В случаях 1 и 2 в ограниченном интервале тока зависимость $\Delta\varphi$ (и Δn) от тока накачки близка к линейной, а в случаях 3 и 4 эта зависимость заметно отличается от линейной. Соответствующие значения dn/dI составляют $-3,5 \cdot 10^{-4} \text{ мА}^{-1}$ в случае 1 (для первого усилителя) и $-4,6 \cdot 10^{-4} \text{ мА}^{-1}$ в случае 2 (для второго усилителя при токе 12—23 мА). В случаях 3 и 4 зависимость Δn от тока хорошо описывается следующим выражением [6]: $\Delta n = \alpha\sqrt{I}/(1+I/\tilde{I})$, где $\alpha = 0,004 \text{ мА}^{-1/2}$, $\tilde{I} = 200 \text{ мА}$.

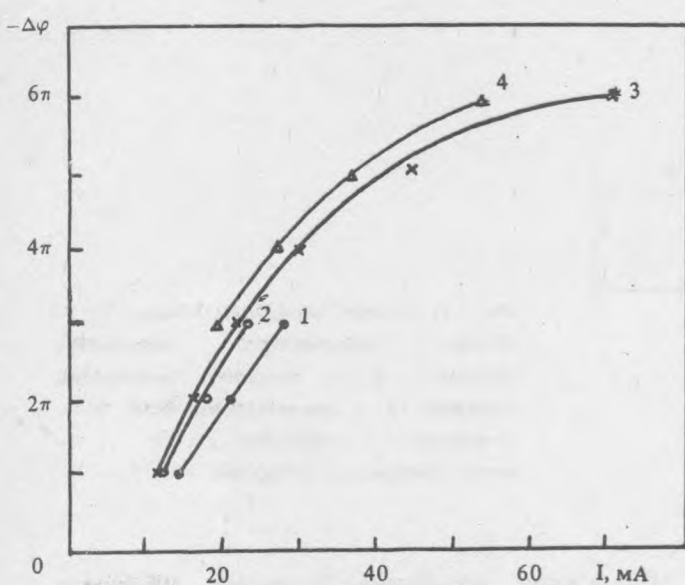
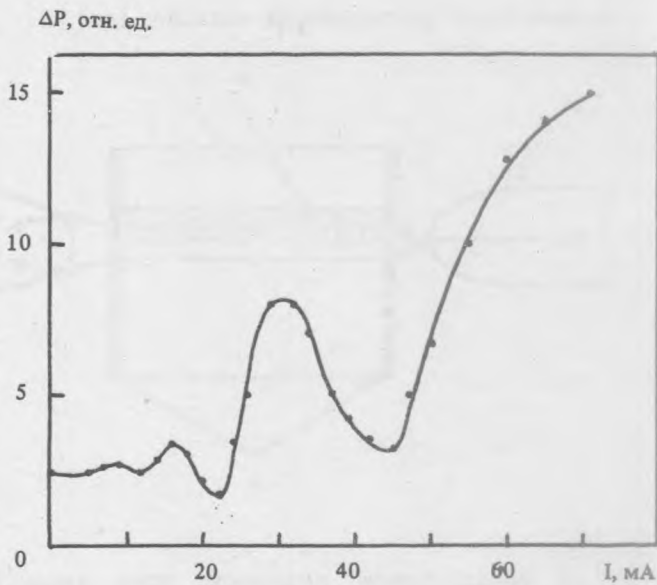


Рис. 2. Зависимости разности фаз между усиливаемой и опорной волнами от тока накачки для первого усилителя (кривая 1) и для второго усилителя при различных значениях отношения постоянных амплитуд полей опорной и усиливаемой волн: 0,14 (2); 2,43 (3); 32,86 (4).

Рис. 3. Зависимость выходной мощности усилителя от тока накачки (соответствует кривой 3 на рис. 2).



На рис. 3 приведена характерная зависимость выходной мощности от тока. Значение P при отсутствии тока накачки определяет мощность опорной волны. Период колебаний по току постепенно растет, что указывает на сублинейный характер зависимости $\Delta n(I)$.

Таким образом, в настоящей работе предложена и продемонстрирована простая методика измерения сдвига фазы волны в полупроводниковом лазерном усилителе бегущей волны. С помощью этой методики получено значение скорости изменения показателя преломления с током. Оно составило $(-3,5 \div -4,6) \cdot 10^{-4} \text{ мА}^{-1}$ в разных образцах. Для получения опорной волны, фаза которой не зависит от инжекции носителей, использовалась небольшая разъюстировка (в вертикальной плоскости) вводного узла согласования световода с лазерным диодом. Эта же техника может быть использована для интерферометрической модуляции проходящего сигнала, например, для чисто фазовой модуляции или для целей оптического переключения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов А.П. Труды ФИАН, 166, 68 (1986).
2. Kuwahara H., Chikama T., Nakagami T. Electron. Lett., 19, 295 (1983).
3. Безотосный В.В. и др. Квантовая электроника, 7, 1990 (1980).
4. Ву Ван Лык и др. Препринт ФИАН №47, М., 1989.
5. Ву Ван Лык, Елисеев П.Г., Манько М.А. Квантовая электроника, 9, 1851 (1982).
6. Ehrhart J.F., Villeneuve A., Assanto G. Appl. Phys. Lett., 58, 816 (1991).

Поступила в редакцию 20 января 1992 г.