

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО УСИЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ЛАЗЕРНОМ УСИЛИТЕЛЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

П.Г. Елисеев, М.В. Цоцория

По смене знака фотоотклика усилителя бегущей волны (УБВ) на лазерном диоде определяется порог инверсии, что позволяет затем по приращению оптического сигнала на выходе УБВ измерить внутреннее усиление в зависимости от тока накачки.

Развитие оптической волоконной связи обусловило повышение интереса к полупроводниковым усилителям [1-5]. Они могут быть использованы в качестве ретрансляторов, модуляторов, фазовращателей и т.д. Для практического применения изготавливают полупроводниковые усилители в модульном исполнении [6]. Они включают активный элемент, пристыкованные к нему волоконные световоды (ниже рассмотрены модули с одномодовыми диодами и одномодовыми волоконными световодами) и другие элементы. Возникает задача о неразрушающем контроле и анализе полупроводникового усилительного элемента по характеристикам усилительного модуля. В настоящей работе предложен новый метод определения внутреннего усиления усилительного диода, работающего в режиме усилителя бегущей волны (УБВ).

Аппаратное усиление (аппаратный коэффициент передачи) модуля можно представить в виде $K \equiv P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}} = \eta_1 G \eta_2$ (рис. 1), где $P_{\text{вх}}$ — мощность входного излучения, $P_{\text{вых}}$ — мощность усиленного выходного излучения; η_1 и η_2 — коэффициенты согласования активного элемента со световодами; G — усиление активного элемента. На пороге инверсии в УБВ, когда показатель ненасыщенного усиления [8] равен нулю, аппаратный коэффициент передачи определяется выражением $K_0 = \eta_1 e^{-aL} \eta_2$, где a — показатель нерезонансных потерь в активном элементе, L — длина диода. Величина K_0 определяет общие потери мощности в модуле на согласование активного элемента со световодами и на нерезонансные потери (рассеяние, поглощение на свободных носителях и дефектах).

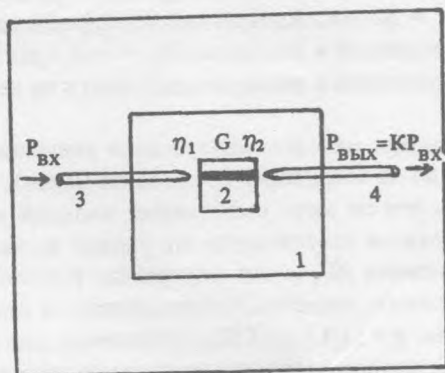


Рис. 1. К определению аппаратного усиления модуля: 1 — усилительный модуль; 2 — активный элемент; 3, 4 — волоконные световоды.

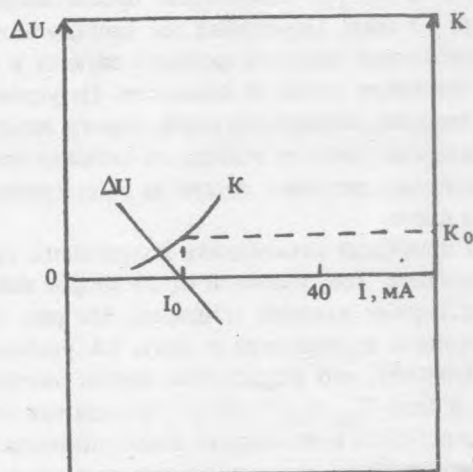


Рис. 2. К определению порога инверсии и общих потерь мощности в модуле, ΔU — оптоэлектронный сигнал.

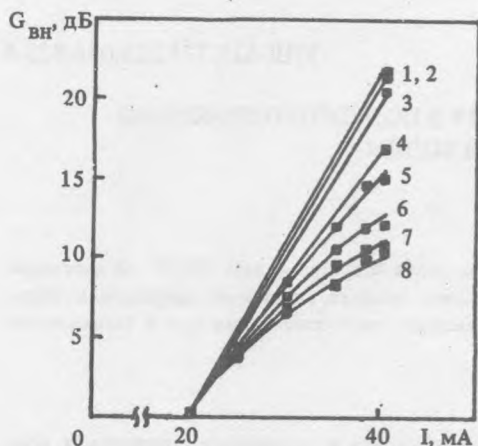


Рис. 3. Зависимость внутреннего усиления импульсного сигнала от тока накачки усилителя при различных значениях входной мощности: 1 – 2,8; 2 – 5,6; 3 – 12; 4 – 48; 5 – 60; 6 – 124; 7 – 320; 8 – 580 мкВт.

Аппаратное усиление при произвольной накачке (произвольном значении коэффициента ненасыщенного усиления) включает внутреннее усиление $G_{\text{вн}}$ и упомянутые общие потери: $K = G_{\text{вн}} K_0$, где величина $G_{\text{вн}}$ характеризует усиление оптического потока в активном элементе за счет вынужденных излучательных переходов; она не зависит от потерь мощности в модуле.

Таким образом, измерение аппаратного коэффициента передачи на пороге инверсии и при данной накачке позволяет оценить общие потери мощности в модуле и определить внутреннее усиление полупроводникового усилительного элемента. Остается вопрос об экспериментальной идентификации порога инверсии. Ток накачки, соответствующий порогу инверсии, можно определить по зависимости оптоэлектронного сигнала (электрического отклика в цепи питания диода на оптический сигнал /9/) от тока накачки усилителя. На пороге инверсии оптоэлектронный сигнал меняет знак, поскольку поглощение света с генерацией носителей сменяется усилением света с вынужденной рекомбинацией носителей. Соответствующее порогу инверсии значение аппаратного коэффициента передачи K_0 (рис. 2) и определяет общие потери.

Для иллюстрации предложенного метода проведена серия экспериментов, в которых использовался "неполный" усилительный модуль: к активному элементу световод был пристыкован лишь с одной стороны, а с другой стороны на выходе усилителя излучение регистрировалось фотодиодом. В качестве активного элемента в модуле использован просветленный зарощенный мезаполосковый InGaAsP/InP диод на длине волны 1,3 мкм. Пороговый ток исследуемого образца после просветления составлял 40 мА. Были изучены зависимости оптоэлектронного сигнала и аппаратного усиления от тока накачки усилителя при различных значениях входной мощности. Из условия равенства нулю оптоэлектронного сигнала определялся ток накачки, соответствующий порогу инверсии: $I_0 = 20$ мА. Аппаратный коэффициент передачи на пороге инверсии почти не зависел от значения входной мощности и составлял $K_0 \approx -8,6$ дБ. В данном случае эта величина включает потери на ввод излучения из световода в усилительный диод и на нерезонансные потери в диоде.

На рис. 3 приведена зависимость полученного предложенным методом внутреннего усиления от тока накачки усилителя. Ток меняется от 20 (порог инверсии) до 40 мА (порог самовозбуждения). Параметром кривых служит входная мощность. Из рис. 3 видно, что по мере уменьшения входной мощности кривые сгущаются и сливаются в одну, т.е. усиление становится независимым от уровня входной мощности. Это означает, что реализуется режим линейного усиления /8/, когда внутреннее усиление можно представить в виде $G_{\text{вн}} = e^{gL}$, где g – показатель ненасыщенного усиления. Следовательно, в данном случае можно определить и показатель ненасыщенного усиления: $g = (1/L) \ln(K/K_0)$. Например, для кривой 1 при токе накачки 30 мА внутреннее усиление равно 10,8 дБ, что соответствует показателю ненасыщенного усиления $g \approx 100 \text{ см}^{-1}$ (длина диода $L = 250$ мкм).

Следует обратить внимание на то, что представленная простая интерпретация пригодна только для УБВ. Поэтому вблизи порога генерации, где усилитель переходит в регенеративный режим, данный подход становится некорректным без более сложных расчетов.

Предложенный метод может быть применен для изучения и контроля усилительного элемента в модуле и для более подробных исследований механизма оптического усиления в полупроводниковых лазерах.

Авторы благодарят доктора Ву Ван Лыка, Нгуен Тхи Тхань Фьонг и Нгуен Чьонг Тхонг Ньята за помощь в работе и проведение ряда измерений, В.П. Дураева и Е.Т. Неделина за предоставление образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coupland M. F. et al. Phys. Letters, 7, 231 (1963).
2. Ораевский А. Н. и др. Препринт ФИАН № 83, М., 1969.
3. Yamamoto Y. IEEE J. Quantum Electron., QE-16, 1047 (1980).
4. Adams M. et al. Proc. IEE, part J, 132, 58 (1985).
5. O'Mahony M. J. J. Lightwave Technol., LT-6, 531 (1988).
6. Ву Ван Лык и др. Препринт ФИАН № 47, М., 1989.
7. Богатов А. П. и др. Труды ФИАН, 166, 76 (1986).
8. Богатов А. П. Труды ФИАН, 166, 68 (1986).
9. Ву Ван Лык и др. Квантовая электроника, 9, 1851 (1982).

Поступила в редакцию 8 января 1990 г.