

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 621.373:535

РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕТЛЕВОГО ВРМБ-ЗЕРКАЛА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

А. Б. Васильев, О. М. Вохник, В. А. Спажакин, И. В. Терентьева

(кафедра оптики и спектроскопии)

E-mail: omv@optics.npi.msu.su

Для случая импульсной накачки выполнены численные расчеты порогового инкремента и времени возбуждения ВРМБ в схеме с петлей обратной связи при различных параметрах петлевой схемы. Проведено сравнение полученных расчетных значений с экспериментальными данными для петлевого ВРМБ-зеркала, используемого в качестве зеркала резонатора твердотельного лазера.

Схема с петлей обратной связи для возбуждения вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ), предложенная в работе [1], обеспечивает существенное снижение пороговой мощности возбуждающего лазерного излучения. Это значительно расширяет возможности применения и повышает эффективность устройств для обращения волнового фронта на основе ВРМБ. В частности, экспериментальная реализация ВРМБ-зеркала с петлей обратной связи в качестве зеркала резонатора твердотельного лазера, впервые осуществленная в [2], продемонстрировала значительный выигрыш в выходной мощности лазера и эффективном коэффициенте отражения петлевого ВРМБ-зеркала по сравнению с обычным ВРМБ-зеркалом, возбуждаемым за один проход нелинейной среды.

При использовании петлевой схемы в качестве зеркала резонатора лазера важно знание характеристик возбуждения вынужденного рассеяния: времени, необходимого на достижение порогового уровня рассеянного излучения, пороговой мощности исходного лазерного излучения, других параметров. В стационарном режиме порог возбуждения ВРМБ в петлевой схеме был рассчитан в [1], и для этого случая показано, что он на порядок ниже, чем при возбуждении ВРМБ на проход. Реально же при возбуждении ВРМБ излучением твердотельного лазера накачка имеет импульсный характер. Поэтому целью настоящей работы являлся расчет пороговых характеристик петлевого ВРМБ-зеркала при импульсной накачке.

Выполнен численный расчет порогового инкремента усиления ВРМБ G_{th} в зависимости от ослабления излучения в петлевой схеме. Для различных значений мощности накачки рассчитаны момент t_0 , возбуждения вынужденного рассеяния и соответствующий этому моменту уровень мощности лазерного импульса P_0/P_{max} . Для рассчитанных величин

P_0/P_{max} проведено сравнение с экспериментальными данными.

Расчет базируется на предложенном в работе [3] подходе, позволяющем учесть импульсный характер изменения мощности накачки $P(t)$. Предполагается (в хорошем согласии с экспериментальными данными), что мощность лазерного импульса $P(t)$ зависит от времени по гауссову закону

$$P(t) = P_{max} \exp\{-[2(t - t_{max})/\tau_L]^2 \ln 2\}, \quad (1)$$

где τ_L — длительность лазерного импульса на полувысоте, t_{max} — момент времени, при котором мощность накачки достигает максимального значения P_{max} .

Интенсивность стока сигнала за время τ полного обхода петлевой схемы увеличивается в g раз, где

$$g = \exp G(t) \{ \exp[G(t)/2] - 1 \}^2 \frac{\zeta^2}{(1 + \zeta)^2}, \quad (2)$$

а $G(t)$ представляет собой инкремент усиления ВРМБ, создаваемого накачкой в области параметрического взаимодействия и, как обычно, дается выражением

$$G(t) = I(t) bl, \quad (3)$$

где $I(t)$ — интенсивность лазерного излучения в области параметрического взаимодействия, $I(t) = P(t)/S$, S — площадь сечения пучка, ζ — ослабление интенсивности излучения при одном обходе петли, b — удельный коэффициент усиления ВРМБ, l — длина области параметрического взаимодействия. С учетом выражений (1), (3) $G(t)$ можно представить в виде

$$G(t) = G \exp\{-[2(t - t_{max})/\tau_L]^2 \ln 2\}, \quad (4)$$

где $G = P_{max} bl/S$.

Рост интенсивности вынужденного рассеяния за один обход, определяемый выражением (2), можно

охарактеризовать эффективным инкрементом:

$$G_{\text{eff}}(t) = \ln \left[\exp G(t) \{ \exp[G(t)/2] - 1 \}^2 \frac{\zeta^2}{(1+\zeta)^2} \right]. \quad (5)$$

Полный инкремент усиления стоксова излучения G_{Σ} за время лазерного импульса равен

$$G_{\Sigma} = 1/\tau \int_{t_1}^{t_2} G_{\text{eff}}(t) dt,$$

где t_1, t_2 — моменты времени, соответствующие началу и окончанию роста стоксовой интенсивности в петлевой схеме. Значение G , при котором полный инкремент G_{Σ} оказывается равным 25, является пороговым инкрементом усиления петлевой схемы G_{th} .

В расчетах использовались численные значения, соответствующие экспериментальным. Длительность лазерного импульса на полувисоте τ_L принята равной 44 нс (для удобства представления данных максимум импульса условно привязан к моменту $t_{\text{max}} = 52$ нс). Ослабление интенсивности излучения при одном обходе петли ζ изменялось от 0.1 до 0.9 с шагом 0.05 (экспериментальное значение составляло 0.65). Время облета петли τ взято равным 1.75 нс.

На рис. 1 представлена зависимость порогового инкремента усиления G_{th} от ослабления излучения в петлевой схеме ζ . Видно, что даже при больших потерях в петле ($\zeta = 0.1$) пороговый инкремент усиления G_{th} равен примерно 4, что почти в 6 раз ниже, чем при возбуждении рассеяния на проход нелинейной среды, где он должен достигать значения 25. В схеме с малыми потерями ($\zeta > 0.5$) расчетные значения G_{th} лежат в диапазоне 2.0–2.5, и выигрыш в величине порогового инкремента составляет почти 10 раз. Напомним, что возбуждение ВРМБ при этом происходит в момент времени t_2 на спаде лазерного импульса.

В то же время большой интерес представляет вопрос о моменте возбуждения вынужденного рассеяния в петлевой схеме при мощности накачки,

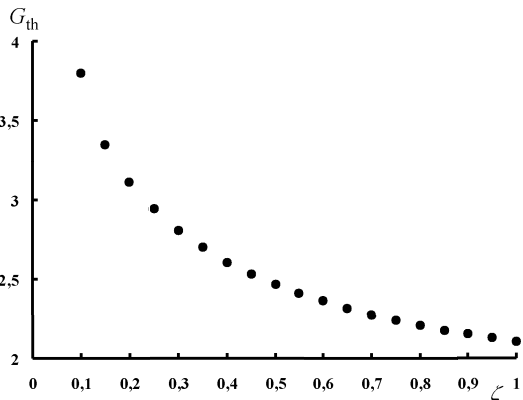


Рис. 1. Пороговый инкремент усиления ВРМБ в петлевой схеме G_{th} в зависимости от ослабления излучения в петле ζ

превышающей пороговую. Этот момент t_0 определяется по достижению величиной $G_{\text{eff}}(t_0) = \int_{t_1}^{t_0} \frac{G_{\text{eff}}(t)}{\tau} dt$ значения 25. В численном расчете t_0 значения лазерной мощности P_{max} , направляемой на петлевую схему, варьировались вблизи экспериментально реализованной величины, равной 0.09 МВт, и составляли: 0.05, 0.07, 0.09 и 0.11 МВт.

Результаты расчета t_0 в зависимости от ζ представлены на рис. 2. Видно, что при фиксированных потерях в петлевой схеме ($\zeta = \text{const}$) порог возбуждения вынужденного рассеяния достигается тем позже, чем меньше мощность накачки. Так, при $\zeta = 0.5$ и мощности накачки 0.05 МВт пороговый инкремент усиления ВРМБ достигается только на спаде импульса, перемещаясь на его возрастающую

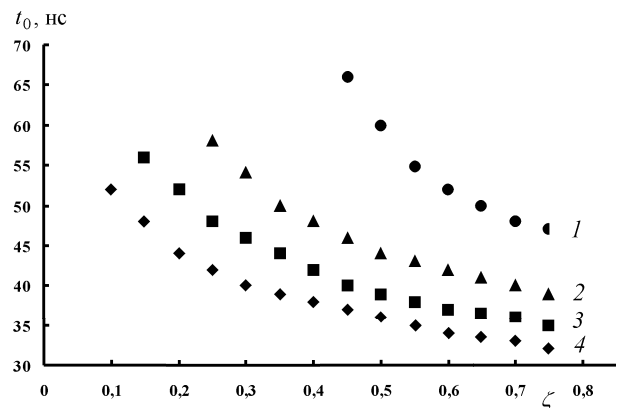


Рис. 2. Зависимость времени t_0 достижения порога возбуждения ВРМБ в петлевой схеме от ζ при различной мощности накачки $P_{\text{max}} = 0.05$ (1), 0.07 (2), 0.09 (3) и 0.11 МВт (4)

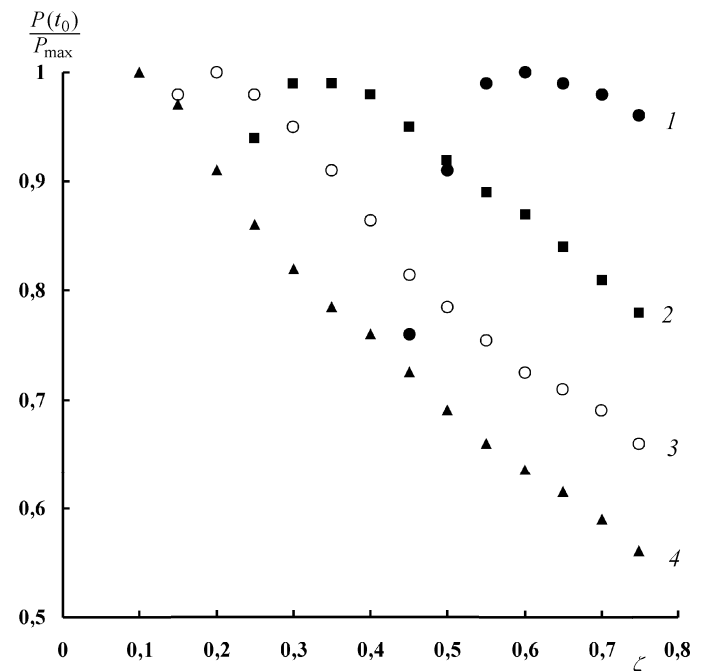


Рис. 3. Зависимость относительной мощности $P(t_0)/P_{\text{max}}$ от ослабления излучения в петле ζ для различной падающей мощности $P_{\text{max}}: 0.05$ (1), 0.07 (2), 0.09 (3) и 0.11 МВт (4)

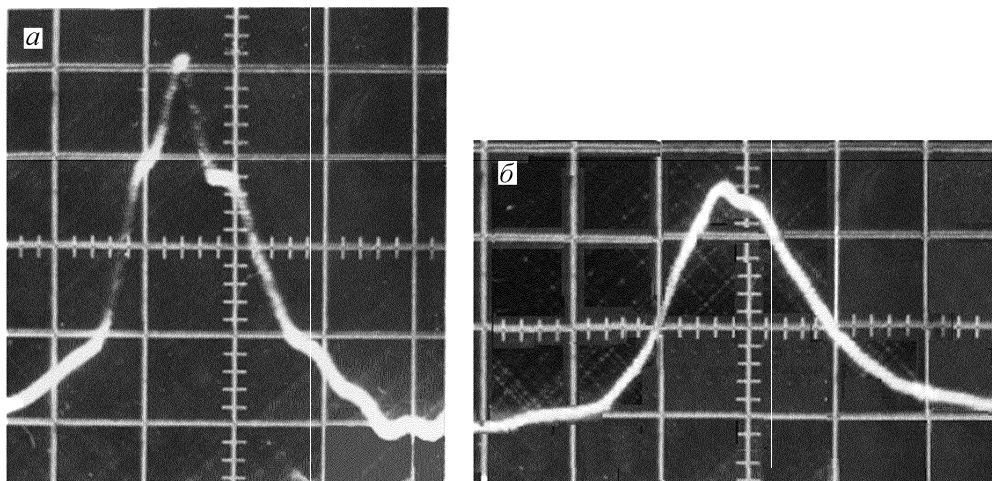


Рис. 4. Осциллограммы импульсов лазера с петлевым ВРМБ-зеркалом при исходной лазерной мощности 0.09 МВт, $\zeta = 0.65$ (а) и 0.05 МВт, $\zeta = 0.55$ (б); длительность развертки 20 нс/дел

часть по мере роста накачки. Видно также, что при заданной пиковой мощности P_{\max} инкремент усиления ВРМБ превышает порог тем раньше, чем меньше потери в петле обратной связи.

По известному значению t_0 легко определяется относительный уровень $P(t_0)/P_{\max}$ мощности лазерного импульса, соответствующий началу возбуждения ВРМБ. На рис. 3 приведены графические зависимости $P(t_0)/P_{\max}$ от ζ . Немонотонный характер зависимости относительного порогового уровня $P(t_0)/P_{\max}$ от пропускания петли при $P_{\max} = 0.05$, 0.07 и 0.09 МВт обусловлен тем, что порог возбуждения ВРМБ сначала достигается на спаде импульса накачки. Затем, по мере увеличения пропускания петли, пороговый уровень перемещается все ближе к максимуму импульса, и $P(t_0)/P_{\max}$ возрастает до 1. Далее, когда момент достижения порога переходит на возрастающую часть импульса, относительный пороговый уровень снова начинает убывать. Только при мощности $P_{\max} = 0.11$ МВт порог сразу достигается в максимуме импульса, и далее наблюдается лишь монотонное уменьшение величины $P(t_0)/P_{\max}$ с ростом ζ .

Расчетные данные, позволяющие указать при каком относительном уровне мощности лазерного импульса начинается возбуждение ВРМБ, сравнивались с экспериментальными результатами. На рис. 4 приведены типичные осциллограммы импульсов твердотельного лазера с петлевым ВРМБ-зеркалом при разной мощности исходного лазерного излучения и ослабления излучения в петле, полученные в [2]. Осциллограммы даны в одном временном

масштабе по оси абсцисс, масштаб по оси ординат на рис. 4,а в 5 раз меньше, чем на рис. 4,б. Момент возбуждения ВРМБ в петлевой схеме на них хорошо виден по излому огибающей лазерного импульса, когда плавный рост мощности сменяется значительно более резким.

Экспериментальная оценка $P(t_0)/P_{\max}$ по нескольким десяткам осциллограмм, подобным представленной на рис. 4,а, дает величину, примерно равную 0.8 при мощности исходного импульса 0.09 МВт и $\zeta = 0.65$. При уменьшении падающей мощности до 0.05 МВт и ζ до 0.55 (рис. 4,б) момент возбуждения петлевой схемы отодвигается на задний фронт импульса, а $P(t_0)/P_{\max}$ составляет $\cong 0.9$. С учетом погрешностей эксперимента эти данные хорошо согласуются с расчетными значениями $P(t_0)/P_{\max}$, равными 0.71 при $\zeta = 0.65$, $P_{\max} = 0.09$ МВт и 0.99 при $\zeta = 0.55$, $P_{\max} = 0.05$ МВт.

Литература

1. Одинцов В.И., Рогачева Л.Ф. // Письма в ЖЭТФ. 1982. **36**, № 8. С. 281.
2. Вохник О.М., Михайлов В.А., Спажакин В.А. и др. // Опт. и спектр. 1995. **78**, № 2. С. 338.
3. Рогачева Л.Ф. Эффективные схемы обращения волнового фронта при вынужденном рассеянии света: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М., Физ. ф-т МГУ, 1986.

Поступила в редакцию
20.12.02