

02; 07; 12

© 1991

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИАГ : Nd -ЛАЗЕР
С ПАССИВНЫМ ЗАТВОРОМ НА КРИСТАЛЛЕТ.Т. Басиев, А.Н. Кравец,
С.Б. Миrows, А.В. Федин

Решение многих задач лазерной технологии требует применения импульсно-периодического режима генерации с высокой пиковой и средней мощностью излучения [1, 2], причем эффективность лазерной обработки и ее воспроизводимость существенно возрастают при использовании одномодового излучения [3]. В связи с этим мы исследовали возможности оптимизации непрерывного технологического ИАГ : Nd -лазера типа ЛТН-103, используя кристаллы $LiF : F_2^-$ для пассивной модуляции добротности резонатора с целью достижения максимальных значений пиковой и средней мощности излучения как в многомодовом, так и одномодовом режимах генерации.

Лазер ЛТН-103 состоит из двух квантронов типа К-301В с активными элементами размером 6.3x100 мм и криптоновыми лампами накачки ДНП-6/90. Расстояние между зеркалами резонатора - 720 мм. Пропускание выходного зеркала - 23 %. Мощность непрерывного излучения 250 Вт достигается при электрической мощности накачки 9 кВт.

В работах [4, 5] показана возможность пассивной модуляции добротности непрерывного ИАГ : Nd -лазера с помощью кристаллов $LiF : F_2^-$ при средней мощности модулированного излучения до 24 Вт в многомодовом режиме генерации и 17 Вт - в одномодовом. В этом случае начальное пропускание пассивного лазерного затвора (ПЛЗ) на длине волны 1064 нм составляло 96 %, а пиковая мощность излучения - 0.5 кВт. Уменьшение начального пропускания затвора до 65 % сопровождалось увеличением пиковой мощности до 25 кВт и уменьшением средней мощности излучения до 4 Вт в одномодовом режиме.

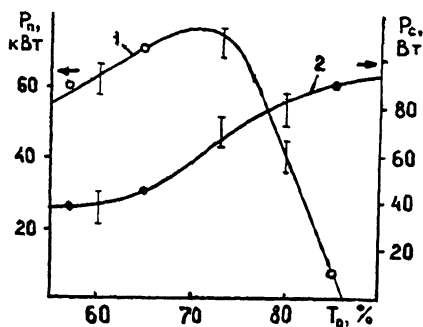
Возможности применения ПЛЗ на основе кристаллов $LiF : F_2^-$ для получения более высоких мощностей излучения при непрерывной накачке до настоящего времени не исследованы.

Мы исследовали три схемы лазера на базе ЛТН-103 с пассивной модуляцией добротности резонатора кристаллами $LiF : F_2^-$:

- по стандартной схеме - кристалл помещали между квантронами, а расстояние между зеркалами оставалось неизменным - 720 мм (схема 1);

- по схеме с усилением - кристалл помещали между первым квантроном и выходным зеркалом, которое устанавливали на расстоянии 370-450 мм от „глухого“, а второй квантрон использовали как усилитель (схема 2);

Рис. 1. Зависимости пиковой (1) и средней (2) мощности одномодового излучения ИАГ: Nd -лазера от начального пропускания ПЛЗ на кристалле $LiF:F_2^-$.



— по схеме с усилением, аналогичной схеме 2, но при использовании выпуклого «глухого» зеркала (схема 3).

Применение диафрагмы, помещаемой в плоский резонатор для выделения основной поперечной моды, оказалось невозможным при высоких мощностях накачки ввиду чрезмерных тепловых нагрузок на диафрагму и значительной интенсивности дифрагированного излучения. Использование неустойчивого резонатора с выпуклым «глухим» зеркалом позволило получить одномодовый режим генерации без применения диафрагмы.

В таблице приведены основные параметры работы лазера на базе ЛТН-103 при использовании трех указанных схем применения ПЛЗ. В схемах 1 и 2 использовали резонатор с плоскими зеркалами, а в схеме 3 — выпуклое «глухое» зеркало. Пропускание выходного зеркала для всех трех схем было неизменным — 23 %.

Кристалл $LiF:F_2^-$ размером $8 \times 8 \times 40$ мм закрепляется на массивном охлаждаемом латунном основании с применением индических прокладок, что позволило использовать его в течение более 300 часов без заметного истощения ресурса работы. F_2^- -центры создавали путем окрашивания кристалла LiF γ -излучением. В свежеприготовленном кристалле начальное пропускание на длине волны 1064 нм составляло 60 %. В процессе работы ПЛЗ оно увеличилось до 73 % в течение 50 часов и в дальнейшем оставалось неизменным.

Импульсы излучения регистрировались при помощи лавинного фотодиода ЛФД-2А на запоминающем осциллографе С8-14. Среднюю мощность излучения $P_{ср}$ измеряли прибором ИМО-2М с погрешностью 5 %, а пиковую мощность оценивали по формуле $P_n = P_c / t f$, где t — длительность импульса на полувысоте, f — частота их следования.

Расчет оптимальных размеров резонатора и радиуса кривизны зеркала проводился по методике, изложенной в работах [6, 7].

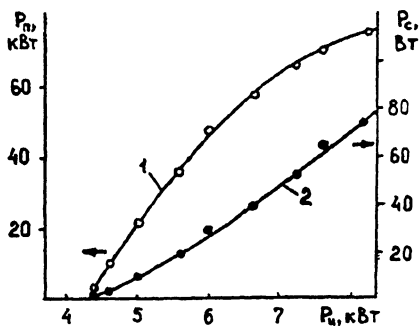
По схемам 1 и 2 реализован многомодовый режим генерации, а по схеме 3 одномодовый с гауссовым распределением интенсивности излучения по сечению луча и расходимостью 2.3 мрад. Включение квантронов и ПЛЗ по схеме с усилением позволило значительно снизить тепловые нагрузки на затвор по сравнению со стандартной схемой 1.

Основные параметры излучения технологического ИАГ: Nd-лазера с пассивной модуляцией добротности кристаллом

Тип схемы	P_n , кВт	P , Вт	$P_{ср}$, Вт	$P_{п'}$, кВт	t , нс	f , кГц	W , мДж	Режим генерации
1	7.2	210	65	32.5	200	10	6.5	Многомодовый
2	7.2	147	27	40.6	100	6.4	4.1	"
2	8.2	180	43	64.2	100	6.7	6.4	"
3	7.2	122	53	66.3	120	6.7	8.0	Одномодовый
3	8.2	143	75	75	120	8.3	9.1	"

P_n - мощность электрической накачки, P - мощность излучения без ПЛЗ, $P_{ср}$ - средняя мощность модулированного излучения, $P_{п}$ - пиковая мощность, t - длительность импульса, f - частота следования импульсов, W - энергия импульса.

Рис. 2. Зависимости пиковой (1) и средней (2) мощности одномодового излучения ИАГ: Nd -лазера с ПЛЗ на кристалле $LiF:F_2^-$ - от мощности накачки.



В связи с этим в схемах 2 и 3 мы могли применить более высокие мощности накачки $P_n = 8.2$ кВт (см. таблицу), недостижимые для схемы 1 из-за чрезмерного нагрева ПЛЗ.

На рис. 1 приведены зависимости пиковой и средней мощности одномодового излучения лазера при использовании ПЛЗ с различным начальным пропусканием T_0 для схемы 3 при мощности электрической накачки 8.2 кВт. Доверительные интервалы указаны при надежности 0.9 и определены на основе использования десяти различных квантронов типа К-301В. Из представленных результатов видно, что с увеличением T_0 от 65 до 75 % средняя мощность излучения монотонно растет примерно в 2 раза. И именно на эту область T_0 приходится максимум пиковой мощности генерации. Эта зависимость позволяет выбрать оптимальный режим работы лазера для различных технологических применений, а значительная мощность в одномодовом режиме генерации дает возможность существенно повысить эффективность и качество лазерной обработки материалов [8, 9].

Наличие оптимального интервала начального пропускания ПЛЗ для достижения максимальной пиковой мощности излучения объясняется следующими причинами. Увеличение оптической плотности затвора приводит к увеличению порогового значения инверсной населенности, которое обуславливает генерацию лазерных импульсов с большей энергией и меньшей длительностью. При этом период следования, определяемый временем достижения пороговой инверсии, возрастает. Однако по мере приближения порога генерации к предельной мощности накачки, пиковая мощность излучения падает вследствие уменьшения превышения накачки над порогом.

Падение средней мощности излучения лазера при уменьшении начального пропускания ПЛЗ объясняется ростом активных потерь излучения на просветление затвора, ростом неактивных потерь в затворе и ростом потерь за счет спонтанного распада возбужденных состояний в активной среде, когда период следования импульсов генерации становится сравнимым с временем жизни верхнего лазерного уровня ${}^4F_{3/2}$ в ИАГ: Nd^{+3} , равном 0.25 мс.

Таким образом, применение ПЛЗ с оптимальным значением начального пропускания позволяет достигнуть максимального значения пиковой мощности излучения при высоком уровне средней мощности излучения.

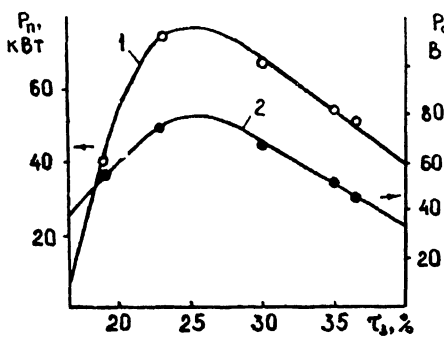


Рис. 3. Зависимости пиковой (1) и средней (2) мощности одномодового излучения ИАГ: Nd -лазера с ПЛЗ на кристалле $LiF: F_2^-$ от пропускания выходного зеркала.

На рис. 2 приведены зависимости пиковой и средней мощности одномодового излучения лазера (по схеме 3) от

мощности накачки при использовании ПЛЗ с начальным пропусканием 73 %. Видно, что схема 3 допускает широкую вариацию выходных параметров, близкой к линейной, путем вариации мощности накачки. Отсутствие насыщения и сверхлинейный рост средней мощности генерации указывает на возможность дальнейшего повышения пиковой и средней мощности излучения с увеличением мощности накачки.

На рис. 3 приведены зависимости пиковой и средней мощности излучения лазера от пропускания выходного зеркала для схемы 3 при начальном пропускании ПЛЗ 73 %, соответствующего, согласно рис. 1, оптимальному значению T_0 . Суммарная мощность накачки двух квантронов составляла 8,2 кВт. Максимальные значения P_n и P_{cp} достигаются при пропускании выходного зеркала 23–25 %.

На рис. 4 приведено распределение интенсивности излучения по сечению луча для схемы 3 на расстоянии 0,5 и 1,5 м от выходного зеркала. Параметры распределения рассчитывали методом наименьших квадратов с применением ЭВМ на основе гауссовой аппроксимации. Применение ПЛЗ сопровождается уменьшением расходимости лазерного излучения с 3,2 до 2,3 мрад на уровне 0,5, что обусловлено дополнительной селекцией поперечных мод. Длина когерентности лазерного излучения с ПЛЗ, определенная с помощью интерферометра Майкельсона составила 10 ± 1 см и без ПЛЗ – 8 ± 1 см, что соответствует ширине спектра излучения – 10 пм. На основе выполненных измерений можно заключить, что интенсивность поперечных мод высшего порядка незначительна по сравнению с интенсивностью нулевой моды. Визуально это проявляется в высокой контрастности интерференционной картины, наблюдаемой с помощью интерферометра Майкельсона.

Создание одномодового ИАГ: Nd -лазера с высокой пиковой и средней мощностью излучения позволило нам исследовать возможность генерации второй гармоники (ГВГ) с помощью нелинейного кристалла $LiNbO_3$ длиной 20 мм, который закрепляли на столике гониометра и ориентировали так, чтобы выполнялось условие фазового синхронизма. При плотности мощности первой гармоники $1,0 \text{ кВт/см}^2$ и температуре кристалла $LiNbO_3$ 60°C эффективность ГВГ составила 2,5 %. Длина когерентности лазерного

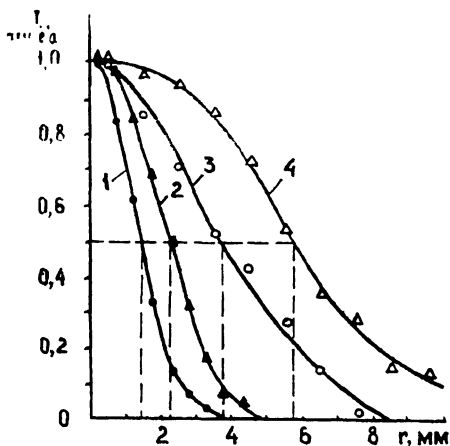


Рис. 4. Относительное распределение интенсивности по сечению луча излучения ИАГ: Nd -лазера с ПЛЗ на кристалле $LiF:F_2^-$ (1, 3) и без ПЛЗ (2, 4) на расстоянии 0.5 м (1, 2) и 1.5 м (3, 4) от выходного торца усилителя.

излучения, определенная с помощью интерферометра Майкельсона, составила 50 ± 2 см, что соответствует ширине спектра излучения 0.6 пм.

Таким образом, оптимизация схемы и резонатора технологического ИАГ: Nd -лазера типа ЛТН-103 позволила получить мощность непрерывного одномодового излучения равную 143 Вт. С помощью ПЛЗ на кристалле $LiF:F_2^-$ получена устойчивая импульсно-периодическая генерация одномодового излучения с пиковой мощностью равной 75 кВт при средней мощности излучения 75 Вт. При этом длительность импульсов излучения составила 120 нс, а частота их следования – 8.3 кГц. Высокая мощность одномодового излучения существенно расширяет технологические возможности указанного лазера и позволяет использовать его для ВГГ с большой длиной когерентности.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Р э д и Дж. Промышленные применения лазеров. Пер. с англ. М.: Мир, 1981.
- [2] Р ы к а л и н Н.Н., У г л о в А.А. и др. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.
- [3] В е й к о В.П. Лазерная обработка пленочных элементов. Л.: Машиностроение, 1986.

- [4] Б а с и е в Т.Т., Д е р г а ч ё в А.Ю. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1987, т. 51, № 8, с. 1440.
- [5] Б а с и е в Т.Т., Д е р г а ч ё в А.Ю. и др. Препринт № 306 ИОФ АН СССР. М.; 1986.
- [6] К у ш н и р В.Р. // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. С. 1248.
- [7] И с а е в М.П., К у ш н и р В.Р. // Квантовая электроника. 1982. Т. 9. С. 820.
- [8] К р а в е ц А.Н., К а ч а н о в Е.Г., П а р ц и - к о в С.П. Способ контроля герметичности металла. Авт. св. СССР № 1593852, МКИ: В23К26/00, БИ, 1990, № 35.
- [9] К р а в е ц А.Н. Способ контроля локальной негерметичности изделия. Авт. св. СССР № 1610342, МКИ : С01М3/00, БИ, 1990, № 44.

Поступило в Редакцию

11 ноября 1990 г.

В окончательной редакции

11 марта 1991 г.