

СУЖЕНИЕ СПЕКТРА КВАЗИНЕПРЕРЫВНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В НЕОДИМОВОМ ЛАЗЕРЕ С ПЛАЗМЕННЫМ ЗЕРКАЛОМ

В.Б. Федоров, И.В. Фоменков

Установлено, что мощная (~ 1 МВт) квазинепрерывная свободная генерация миллисекундного неодимового лазера с плазменным зеркалом на мишени из графита отличается узким ($< 0,3$ Å) спектром излучения, стабильным на протяжении всего лазерного импульса (0,6 мс).

Применение плазмы в схемах оптических резонаторов лазеров позволяет управлять процессами генерации и получать различные режимы излучения /1,2/. В данной работе исследуется режим свободной генерации с "гладким" временным ходом амплитуды излучения неодимового лазера с плазменным зеркалом /1/. Обнаружено резкое (не менее, чем в 100 раз) сужение спектра излучения по сравнению с обычной многомодовой пиковой генерацией, для которой интегральная по времени ширина спектра велика и сравнима с шириной линии усиления неодимового стекла.

Опыты выполнялись с одноканальным лазером, состоящим из задающего генератора и трех однотипных усилителей, в качестве которых использовались стержни из неодимового стекла ГЛС-1, заключенные в осветители ГОС-1001. Задающий генератор имел неустойчивый телескопический резонатор из зеркал с фокусными расстояниями $f_1 = 200$ см и $f_2 = -100$ см. Расходимость излучения составляла $(2 \div 4) \cdot 10^{-4}$ рад. В обычном (без взаимодействия с плазмой на мишени) режиме пиковой свободной генерации с энергией 200 Дж спектр излучения имел интегральную ширину до $70 \text{ Å} / 3/$.

При наличии на выходе одноканального лазера углеродной мишени в фокусе линзы $F = 50$ см (расстояние от мишени до зеркала f_1 телескопа составляло 8 м) в течение всего времени действия накачки каскадов (около 0,6 мс) в системе лазер-мишень наблюдалась беспиковая квазинепрерывная генерация, взаимосвязанная с возникающим на мишени плазменным факелом. Устойчивая "гладкая" генерация имела место при низкой, околопороговой накачке телескопического каскада и высоком уровне накачки усилительных каскадов. Соответствующая осциллограмма с временным разрешением до 10 нс представлена на рис. 1.

При повышении энергии каскада квазинепрерывная гладкая генерация наблюдалась на части временного интервала действия накачки, переходя затем и хаотическую пиковую генерацию (рис. 2). При дальнейшем увеличении накачки усилительных каскадов "гладкая" генерация через время (0,1 ÷ 0,2) мс сменялась развитием гигантских импульсов с синхронизацией мод в резонаторе с плазменным зеркалом, что наблюдалось ранее в /1,2/.

Экспериментально контролировалась также интегральная по времени расходимость излучения. Применялся 50%-ый вывод излучения с помощью наклонного к оси лазера зеркала, помещенного между торцом выходного усилительного каскада и фокусирующей линзой. Фотометрирование пятен фокусировки излучения на фотопленке И-1060 В в фокусе вспомогательной линзы $f = 440$ см показало, что расходимость излучения по уровню половины интенсивности во всех наблюдаемых режимах генерации не превышала $4 \cdot 10^{-4}$ рад и близка к значению, определяемому телескопом в лазерном резонаторе.

Спектр генерации с временным разрешением исследовался с помощью интерферометра Фабри — Перо и фотоэлектронного регистратора ФЭР-7. Спектральное разрешение системы составляло $\sim 0,3 \text{ Å}$. Результаты измерений приведены на рис. 2б для импульса генерации на рис. 2а. Видно, что на всем протяжении "гладкой" генерации спектр излучения узкий. Его ширина не превышает предел разрешения аппаратуры (0,3 Å). Сравнение временных разверток спектров в разных опытах показало, что длина волны генерации воспроизводилась от опыта к опыту с точностью не хуже 1 Å. При переходе на пиковый режим (рис. 2а) ширина спектра генерации резко возрастала (рис. 2б) в соответствии с известными ранее данными /3/.

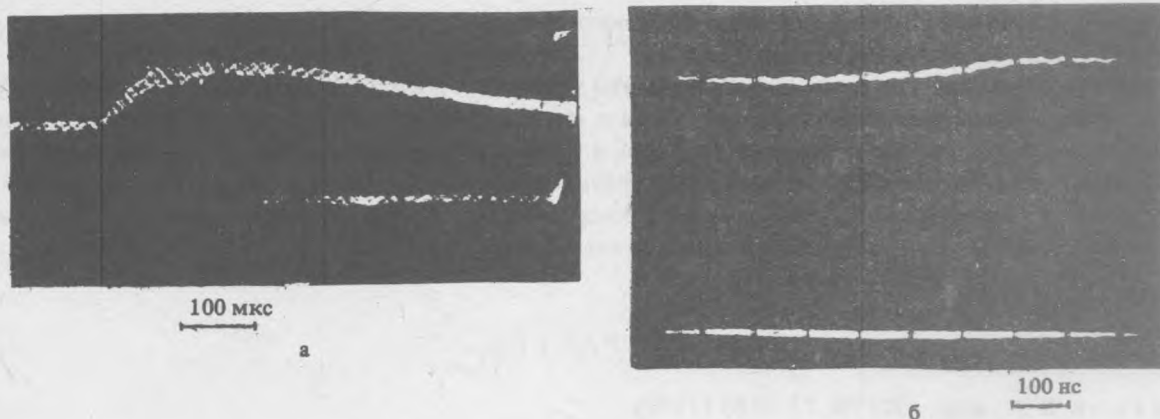


Рис. 1. Временной ход квазинепрерывного излучения на медленной (а) и быстрой (б) развертках. Временная метка на нижнем луче снимка (а) дает привязку осциллограмм (б) и (а). Регистрация проводилась коаксиальным фотоэлементом ФК-20 на осциллографах С8-2 и С8-14.

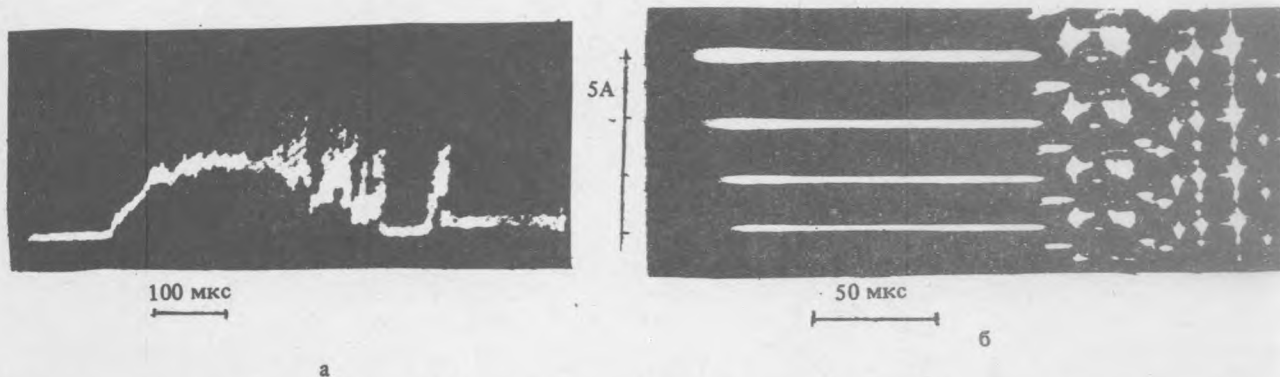


Рис. 2. Осциллограмма генерации (а) с переходом в одном миллисекундном импульсе из режима гладкой генерации в режим с хаотической пиковой модуляцией и соответствующая ей временная развертка спектра генерации (б).

Таким образом, применение плазменного зеркала в неодимовом лазере позволяет реализовать квазинепрерывное излучение с мощностью ~ 1 МВт высокого качества: с направленностью, близкой к дифракционной, и узким спектром $< 0,3$ А, что может представлять интерес для техники мощных лазеров.

Полученные результаты по свободной генерации неодимового лазера с плазменным зеркалом в значительной степени близки к характеристикам рубинового лазера с обратной связью, создаваемой нерезонансным рассеивателем /4/ и могут быть интерпретированы как генерация в лазере с нерезонансной обратной связью, когда добротность мод резонатора низка и их спектральная ширина больше межмодового расстояния. В этих условиях частота генерации определяется частотой максимума линии усиления активной среды, а сужение спектра в процессе установления генерации величиной усиления в среде. В пользу такого объяснения говорит также, с одной стороны, низкий уровень обратного в апертуру лазера отражения излучения от плазменного факела на мишени (т.е. низкая добротность мод резонатора) и, с другой стороны, малая величина межмодового расстояния, связанная с большой длиной резонатора.

Следует отметить, что частота стационарной многомодовой генерации при произвольном соотношении ширины мод и межмодовых расстояний (т.е. с охватом случая нерезонансной обратной связи) впервые получена теоретически в /5/. В работе /4/ на примере рубинового лазера с нерезонансной обратной связью экспериментально показано, что процесс сужения спектра генерации (начиная с ширины линии усиления и до установления стационарного значения) при реальных коэффициентах усиления среды может занимать время, сравнимое с длительностью накачки. В нашем опыте начальная ширина спектра излучения (рис. 2а) намного меньше полосы усиления неодимового стекла, что может означать наличие в начале генерации у

мишени как отражателя излучения свойств частотного селектора, поскольку другие селектирующие элементы в лазерном резонаторе не содержатся.

В заключение отметим, что полученные результаты дают также дополнительную информацию о спонтанном низкопороговом отражении плазменного зеркала /6/, приводящим к неустойчивости в системе лазер-плазма и генерации гигантских импульсов. Гладкое в масштабе ~ 1 мкс распределение амплитуды свободной генерации, предшествующей указанной неустойчивости, означает, что неустойчивость возникает не из-за случайного всплеска амплитуды свободной генерации, а именно вследствие самовоздействия (типа самофокусировки) непрерывного излучения в плазменном факеле на мишени, как это и утверждалось в работе /6/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батанов В. А. и др. ЖЭТФ, 77, 2186 (1979).
2. Малков А. Н. и др. ЖЭТФ, 33, 630 (1981).
3. Ананьев Ю. А. и др. Квантовая электроника, 2, 738 (1975).
4. Амбарцумян Р. В., Крюков П. Г., Летохов В. С. ЖЭТФ, 51, 1669 (1966).
5. Луговой В. Н. Радиотехника и электроника, 7, 349 (1962).
6. Малков А. Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 37 (1985).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 10 октября 1986 г.