

02; 07

© 1990

КВАЗИНЕПРЕРЫВНАЯ НИЗКОПороГОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И КОНКУРЕНЦИЯ ЛИНИЙ В ЛАЗЕРАХ С ЯДЕРНОЙ НАКАЧКОЙ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМА КСЕНОНА

А.М. Воинов, В.Г. Зобнин,
А.И. Конак, С.П. Мельников,
И.Н. Мочкаев, А.А. Синянский

Среди квазинепрерывных лазеров с ядерной накачкой (см., например, обзорную работу [1]) максимальными энергетическими параметрами обладают лазеры на переходах атома Xe с $\lambda=1.73$ и 2.6 мкм [2-4]. Минимальный порог генерации достигается для смеси $Ar-Xe$ при плотности потока тепловых нейтронов $\Phi_{\Pi} \sim 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ [3, 4]. Кроме ядерных излучений для накачки таких лазеров используются также пучки быстрых электронов [5, 6] и ионов [7].

В данной работе приводятся результаты исследования конкуренции генерационных линий 1.73, 2.03 и 2.65 мкм при возбуждении смесей инертных газов осколками деления урана. Сообщается также о получении генерации длительностью до 50 мс в смеси $Ar-Xe$ на $\lambda=2.03$ мкм, причем порог генерации достигается при более низких значениях $\Phi_{\Pi} \sim 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что соответствует удельной мощности накачки $\sim 0.01 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$.

Эксперименты проводились на установке, которая применялась нами ранее [3, 4]. Внутри цилиндрического корпуса лазерной кюветы были помещены параллельно друг другу на расстоянии 2 см две плоские алюминиевые пластины размером 200x6 см, на внутренние поверхности которых нанесены окисные слои урана-235 толщиной $\sim 3 \text{ мкг} \cdot \text{см}^{-2}$. Кювета облучалась импульсным потоком тепловых нейтронов с длительностью импульса на половине высоты около 3 мс. Усредненная по активной длине кюветы плотность потока тепловых нейтронов в максимуме импульса равнялась $2.5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Резонатор лазера был образован двумя одинаковыми диэлектрическими зеркалами с радиусами кривизны 10 м. Расстояние между зеркалами - 240 см. Коэффициент пропускания зеркал в диапазоне 1.5-2.1 мкм составлял $\sim 0.5\%$. Регистрация лазерного излучения проводилась с помощью фотосопротивлений PbS и калориметров ИМО-2Н. Для разделения лазерных линий применялись светофильтры.

На рис. 1 приведены характерные осциллограммы импульсов нейтронного и лазерного излучения для смесей $He-Xe$, $Ar-Xe$ и $He-Ar-Xe$. В смеси $He-Xe$ генерация происходит только на $\lambda=2.03$ мкм (рис. 1, б). В смеси $Ar-Xe$ (рис. 1, в) генерация

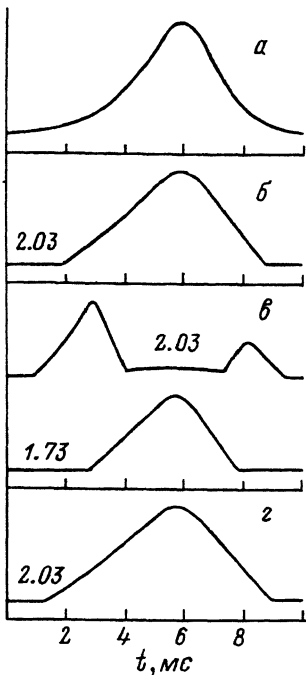
Рис. 1. Осциллограммы импульсы тепловых нейтронов (а) и импульсов генерации: б) смесь $He-Xe$ (1000:1), $\rho = 2$ атм; в) смесь $Ar-Xe$ (100:1), $\rho = 0.5$ атм; г) смесь $He-Ar-Xe$ (100:100:1), $\rho = 1$ атм.

сначала возникает на $\lambda = 2.03$ мкм, так как вероятность спонтанного распада на $\lambda = 2.03$ мкм превышает значения вероятностей распада для линий 1.73 и 2.65 мкм (соответственно 2.5×10^6 с⁻¹, $3.0 \cdot 10^5$ с⁻¹ и $1.3 \cdot 10^6$ с⁻¹ [8]). С ростом мощности накачки появляется линия 1.73 мкм и происходит срыв генерации на $\lambda = 2.03$ мкм. Линия 2.03 мкм возникает снова в конце импульса накачки после прекращения генерации на $\lambda = 1.73$ мкм. Небольшие добавки гелия (0.25–0.5 атм), которые незначительно влияют на мощность накачки, приводят к устранению линии 1.73 мкм (рис. 1, г). Порог генерации при этом возрастает в 2–3 раза.

В данной серии опытов при использовании других зеркал в смеси $Ar-Xe$ наблюдалась также конкуренция между линиями 2.03 и 2.65 мкм, 1.73 и 2.65 мкм. Следует отметить, что аналогичная конкуренция линий 1.73, 2.03 и 2.65 мкм обнаружена при возбуждении смеси $Ar-Xe$ электронным пучком [6]. Объяснение причин такой конкуренции в [6] отсутствует.

В лазерах атмосферного давления на ИК переходах $5d-6p$ атома Xe , возбуждаемых ионизирующими излучениями, в качестве буферных газов используются, как правило, гелий, неон или аргон. Максимальные энергетические параметры получены для смесей $He-Xe$ и $Ar-Xe$. При использовании смеси $Ne-Xe$ генерация либо отсутствует [5], либо, как показывают наши опыты, является маломощной. Отсутствие генерации в смеси $Ne-Xe$ авторы [5] объясняют anomalно малым значением константы скорости процесса перезарядки молекулярных ионов Ne_2^+ на атомах Xe .

Генерационные линии 1.73, 2.03 и 2.65 мкм атома Xe имеют общий верхний лазерный уровень $3d_1$. Анализ кинетики плазменных процессов и экспериментальных данных показывает, что заселение уровня $3d_1$ происходит селективно за счет процесса диссоциативной рекомбинации ионов Xe_2^+ с электронами. Нижние лазерные уровни $2p_5$, $2p_7$ и $2p_9$ расселяются в результате процессов столкновительного тушения при соударениях с атомами He , Ne или Ar . Константы скоростей этих процессов (в единицах 10^{-11} см³ · с⁻¹) приведены в таблице. Для гелия литературные



Атом	$2p_5$	$2p_7$	$2p_9$
<i>Ne</i>	-	0.4 [9]	0.3 [9]
<i>Ar</i>	14 [10]	0.5 [11]	8.2 [10]

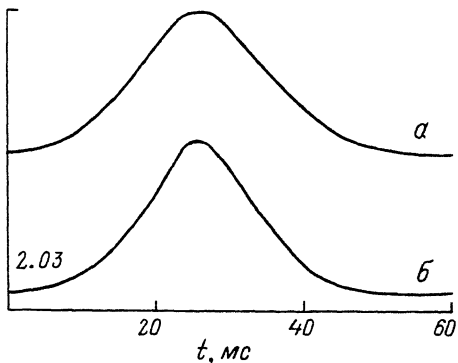
данные отсутствуют. Из приведенных в таблице данных следует, что в случае смеси *Ar-He* состояние $2p_7$, которое является нижним уровнем для линии 2.03 мкм, слабо тушится атомами *Ar*. Следствием этого являются плохие усилительные свойства перехода с $\lambda=2.03$ мкм в смеси *Ar-He*. Гелий в столкновениях эффективно рассеивает все рассматриваемые нижние лазерные уровни (по оценкам константы скоростей этих процессов $\sim 10^{-10}$ см³.с⁻¹). Поэтому сравнительно небольшие добавки гелия в смесь *Ar-He* приводят к стабильной генерации на $\lambda=2.03$ мкм. Невысокие энергетические параметры лазера на смеси *Ne-He* объясняются недостаточной эффективностью тушения всех нижних лазерных уровней атомами *Ne*. Как показывают наши опыты, добавка в смесь *Ne-He* небольших количеств аргона позволяет получить в тройной смеси *Ne-Ar-He* на $\lambda=1.73$ и 2.6 мкм такие же высокие энергетические параметры, как и в двойной смеси *Ar-He* [3, 4].

В данных экспериментах исследована также зависимость порога генерации в смеси *Ar-He* на $\lambda=2.03$ мкм от парциальных давлений аргона и ксенона. Минимальное значение $\Phi_{\Pi}=1.5 \times 10^{12}$ см⁻².с⁻¹ зарегистрировано для смеси *Ar-He* (400:1) при $p=0.25$ атм.

Низкие пороги генерации на $\lambda=2.03$ мкм позволяют использовать для накачки лазера на смеси *Ar-He* нейтронное излучение статических ядерных реакторов или радиоизотопные источники. Для проверки такой возможности нами выполнены эксперименты с использованием маломощного нейтронного источника. Осциллограмма одного из опытов представлена на рис. 2. Плотность потока тепловых нейтронов в максимуме импульса равняется $3.7 \cdot 10^{13}$ см⁻².с⁻¹. Длительность генерации составляет около 50 мс, причем форма импульса генерации примерно повторяет форму импульса накачки. В этом случае наблюдается только одна генерационная линия $\lambda=2.03$ мкм, так как порог генерации на $\lambda=1.73$ мкм не достигается.

В заключение отметим, что в работе [12] сообщается о получении генерации в лазере с ядерной накачкой на смеси *He-Ne* ($\lambda=632.8$ нм) при более низком, чем у нас, значении $\Phi_{\Pi} \sim 2 \cdot 10^{11}$ см⁻².с⁻¹. Однако результаты этих опытов вызывают сомнение и являются предметом дискуссии [13, 14]. В одной из более поздних экспериментальных работ [7] отмечается, что поиск генерации на $\lambda=632.8$ нм в смеси *He-Ne* не дал положительного результата.

Рис. 2. Осциллограммы импульса тепловых нейтронов (а) и импульса генерации (б) для смеси *Ar-Xe* (250:1) при $p=0.25$ атм.



С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Schneider R.T., Hohlf F. // Adv. in Nucl. Sci. and Technol. New York: Plenum Press. 1984. V. 16. P. 123-287.
- [2] Воинов А.М., Довбыш Л.Е., Казакевич А.Т., Кривонос В.Н., Мельников С.П., Подмошенский И.В., Синянский А.А. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. № 7. С. 422-424.
- [3] Воинов А.М., Довбыш Л.Е., Кривонос В.Н., Мельников С.П., Подмошенский И.В., Синянский А.А. // Доклады АН СССР. 1979. Т. 245. № 1. С. 80-83.
- [4] Воинов А.М., Довбыш Л.Е., Кривонос В.Н., Мельников С.П., Подмошенский И.В., Синянский А.А. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. № 16. С. 1016-1020.
- [5] Басов Н.Г., Данилычев В.А., Дудин А.Ю., Заярный Д.А., Устиновский Н.Н., Холлин И.В., Чугунов А.Ю. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 9. С. 1722-1736.
- [6] Suda A., Wexler B.L., Feldman B.J., Riley K.J. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 11. P. 1305-1307.
- [7] Ulrich A., Hammer J.W., Biermaier W. // J. Appl. Phys. 1988. V. 63. N 7. P. 2206-2211.
- [8] Aumar M., Coulobe M. // Atom. Data and Nucl. Data Tables. 1978. V. 21. N 6. P. 537-566.
- [9] Inoe G., Ku J.K., Setser D.W. // J. Chem. Phys. 1984. V. 81. N 12. P. 5760-5774.
- [10] Ku J.K., Setser D.W. // J. Chem. Phys. 1986. V. 84. N 8. P. 4304-4316.

- [11] H o r i g u c h i H., C h a n g R.S.F., S e t s e r D.W. // J. Chem. Phys. 1981. V. 75. N 3. P. 1207-1218.
- [12] C a r t e r B.D., R o w e M.J., S c h n e i d e r R.T. // Appl. Phys. Lett. 1980. V. 36. N 2. P. 115-117.
- [13] P r e l a s M.A., S c h l a p p e r G.A. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 1. P. 496-497.
- [14] S c h n e i d e r R.T., C a r t e r B.D., R o w e M.J. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 11. P. 6980.

Поступило в Редакцию
1 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 8

26 апреля 1990 г.

05.4; 12

© 1990

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$
НА ФЕРРИМАГНИТНОЙ ПОДЛОЖКЕ
ИЗ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА $Y_3Fe_5O_{12}$

С.М. Дунаевский, Б.М. Лебедь,
Н.В. Ставрович

1. В настоящее время ВТСП пленки с $T_c > 80$ К получают различными методами на $SrTiO_3$, MgO и ряде других немагнитных подложек [1-3]. Вместе с тем большой теоретический и практический интерес представляет собой синтез сверхпроводящих пленок на магнитных подложках, среди которых особое место занимают ферримагнитные подложки из железо-иттриевого граната (ЖИГ) $Y_3Fe_5O_{12}$.

В данной работе приведены результаты исследований структуры, химического состава и температурной зависимости $\rho(T)$ пленок $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, полученных магнетронным распылением на эпитаксиальном слое ЖИГ, выращенном на подложке из галлий-гадолиниевого граната (ГГГ) с ориентацией (111).

2. Синтез пленок проводился из охлаждаемой стехиометрической мишени $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ с использованием магнетрона планарной конструкции. Как было показано нами ранее, минимальное отклонение состава пленки от стехиометрического наблюдалось при малых скоростях распыления и низких температурах подложки [4].

В качестве подложек использовались пленки ЖИГ толщиной 5-10 мкм, выращенные методом жидкофазной эпитаксии на ГГГ под-