

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАЦИИ Ag-Хе ЛАЗЕРА С ЯДЕРНОЙ НАКАЧКОЙ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.А.Крыжановский, А.А.Мавлютов, А.И.Миськевич

Экспериментальные исследования характеристик Ag-Хе лазера с ядерной накачкой, выполненные авторами работ [1-3], показали, что при небольшом внешнем подогреве лазерной кюветы, начиная с комнатной температуры, монотонно снижается мощность лазерной генерации и повышается пороговая плотность потока тепловых нейтронов накачки. Кроме того, вследствие разогрева газа в процессе накачки Ag-Хе смесь не выдерживала высоких удельных энерговкладов в газ и ухудшение параметров активной среды начиналось задолго до достижения максимального уровня накачки при энерговкладах ~ 100 мДж/см³ [3-6]. В то же время в ранних исследованиях [7] заметных ухудшений характеристик ксенонового лазера не наблюдалось, хотя в процессе накачки активная среда нагревалась до 500-700°C [2].

Предельные значения температуры лазерной среды и энерговклада, при которых прекращалась генерация, составляли соответственно 200°C и 0.2 Дж/см³ для $5d[3/2]_1^o - 6p[5/2]_2$ перехода Хе ($\lambda = 1.73$ мкм, среда Ag-Хе) [1-4]. При этом величина пороговой плотности потока тепловых нейтронов накачки увеличивалась по сравнению с холодным газом в 5-10 раз и превышала $8 \cdot 10^{15}$ н/см² · с.

В литературе возможные причины перегрева активной среды Ag-Хе лазера связывают с температурными особенностями кинетики ключевых плазмохимических процессов и с оптическими неоднородностями, возникающими в активной среде лазера из-за неравномерности энерговклада по длине и сечению лазерной кюветы [2-6,8].

К сожалению, эти научные гипотезы противоречат экспериментальным фактам и впоследствии некоторые из них были отброшены самими авторами предложений как несостоятельные. До настоящего времени правильное объяснение температурных аномалий в литературе отсутствует.

По нашему мнению, температурные зависимости генерационных характеристик Ag-Хе лазера с ядерной накачкой связаны с загрязнением активной среды лазера молекулами воды, десорбированными со стенок лазерной кюветы

при повышенной температуре. Мы провели генерационные исследования с использованием высокочистых Ag-Xe смесей при различных начальных температурах и подтвердили справедливость этого предположения.

Согласно экспериментальным данным, в нормальных атмосферных условиях даже на идеальной бездефектной поверхности имеется слой воды толщиной 50–100 Å, и эта вода может десорбироваться вследствие внешних воздействий [9]. Критическая температура воды 365°C. Поэтому очистка внутренних поверхностей вакуумной системы лазера от молекулярного монуослоя воды может произойти только при достаточно высокой температуре — более 400°C или при длительной многосуточной откачке. К сожалению, такая вакуумная обработка лазерной кюветы оказывается не всегда возможной, и реальные установки всегда имеют внутренние поверхности, которые покрыты слоем воды. Под действием бомбардировки заряженными частицами высокой энергии такие поверхности десорбируют влагу. Поэтому в конструкции лазера мы предусмотрели меры дополнительной глубокой очистки и осушки газовой смеси с помощью фильтров из разогретой титановой губки и паров металлического натрия.

Водяной пар является активным электроотрицательным газом, и наличие молекул воды в газовой смеси приводит к резкому снижению концентрации электронов в плазме и образованию отрицательных ионов H_2O^- . Данные спектроскопических исследований люминесценции плотных Ag-Xe- H_2O смесей при комнатной температуре, а также Ag-Xe смесей при отличных от комнатной температурах свидетельствовали в пользу этого предположения [10,11].

Работы проводились на импульсном ядерном реакторе ЭБР-Л [12]. При длительности импульса тепловых нейтронов ~ 400 мкс (ширина на полувысоте) плотность потока в максимуме составляла $2 \cdot 10^{16}$ н/см² · с.

Лазер имел безоконую конструкцию. Корпус лазера Ø32 × 800 мм выполнен из тонкостенной трубы из стали 12X18H10T. Внутри корпуса размещался алюминиевый вкладыш Ø28 × 600 мм, содержащий слой окиси-закиси обогащенного урана-235 толщиной 1.4–2.5 мг/см². К корпусу были присоединены два фланца, в которых размещались оптические зеркала Ø60 × 10 мм, устройства юстировки зеркал и два вакуумных ввода. Использовались многослойные диэлектрические сферические зеркала ($R = 10$ м) на кварцевой подложке с коэффициентом отражения на длине волны 1.73 мкм, равным 95–99%. Снаружи на корпус была намотана трехсекционная электрическая печь. Температура кюветы контролировалась тремя термопарами и могла регулироваться в пределах от комнатной до 300°C. Подробнее конструкция лазера описана в работе [12].

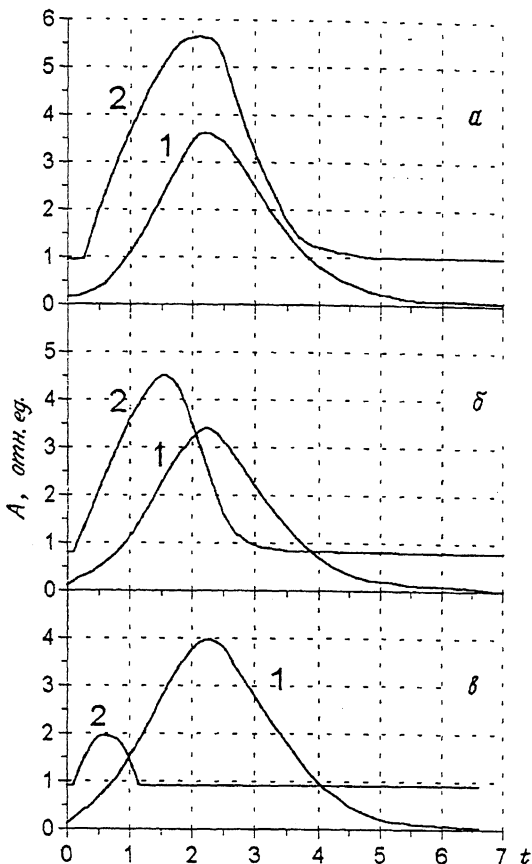


Рис. 1. Осциллограммы импульса тепловых нейтронов накачки (1) и импульса генерации Ag-Xe лазера с длиной волны 1.73 мкм (2) при различных начальных температурах нагрева лазерной кюветы: а — 20°С, б — 150°С, в — 260°С. Состав газовой смеси Ag:Xe = 200:1, плотность горячего газа при всех температурах соответствовала плотности газа при температуре 20°С и давлении 600 Тор. Длительность развертки осциллографа 200 мкс/дел.

Лазерная кювета с помощью двух трубок $\varnothing 8$ мм и длиной по 5 м каждая присоединялась к системе напуска, очистки и прокачки газа. Высокая степень чистоты Ag-Xe смеси к моменту нейтронного импульса обеспечивалась следующим образом: сначала за 60–80 мин до импульса накачки предварительно вакуумированная до остаточного давления $\sim 1 \cdot 10^{-4}$ Тор газовая система заполнялась в холодном состоянии смесью заданного состава и давления. После этого кювета разогревалась до рабочей температуры при непрерывной прокачке смеси через активный объем лазера и

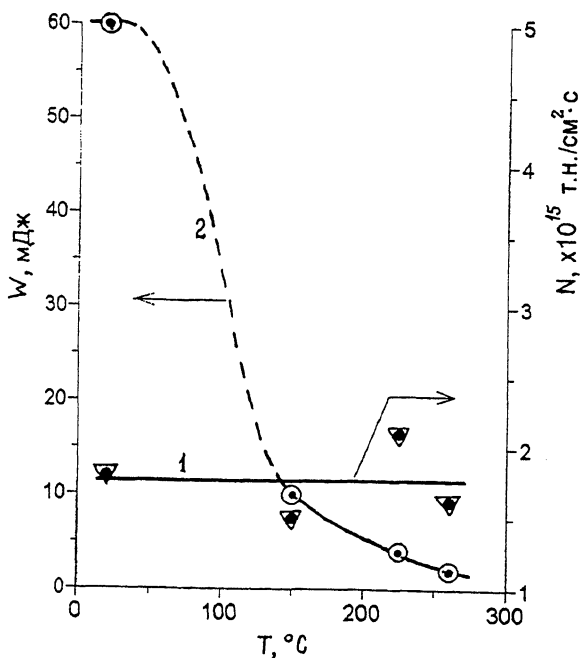


Рис. 2. Пороговая плотность потока тепловых нейтронов накачки (1) и энергия генерации (2) Ag-Хе лазера с ядерной накачкой в зависимости от начальной температуры лазерной кюветы. Длина волны генерации 1.73 мкм, состав смеси Ag:Хе = 200:1, плотность горячего газа при всех температурах соответствовала плотности газа при температуре 20°С и давлении 600 Тор.

систему газовых фильтров для ее очистки от молекулярных газов N_2 , CO_2 , O_2 , H_2O , органических загрязнений и т. д. Прокачка прекращалась за 20–30 с до реакторного импульса.

Лазерное излучение регистрировалось полупроводниковыми фотоприемниками ДКПС и измерителем мощности лазерного излучения ИМО-2 с использованием светоделительных пластин.

Осциллограммы импульсов лазерной генерации, полученные при накачке Ag-Хе смесями осколками деления урана-235 при различных начальных температурах, показаны на рис. 1. Из характерных особенностей временных осциллограмм следует отметить постоянство момента начала генерации (постоянство порога генерации) независимо от начальной температуры кюветы и несовпадение максимумов импульса генерации и импульса нейтронов накачки.

Результаты генерационных исследований суммированы на рис. 2, где приведены зависимости порога и энергии генерации Ag-Хе лазера от температуры для тщательно очищенной газовой смеси. Следует отметить, что в высокочи-

стой Ag-Xe смеси порог генерации практически не зависит от температуры (рис. 2, кривая 1). В то же время энергия генерации падает с ростом температуры нагрева (рис. 2, кривая 2). Это объясняется газовой выделением из урановых слоев вследствие их разогрева до высоких температур в момент действия нейтронного импульса накачки.

Контрольные эксперименты без очистки газовой смеси показали сильную зависимость порога генерации от температуры, ранее наблюдавшуюся в работе [3].

Авторы выражают благодарность Э.П. Магде, А.В. Бочкову, С.Л. Мухину и А.М. Игнатову за содействие в проведении реакторных экспериментов и обсуждение результатов.

Список литературы

- [1] Магда Э.П., Гребенкин К.Ф., Крыжановский В.А., Бочков А.В., Мухин С.Л. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 5. С. 96-98.
- [2] Комак А.И., Мельников С.П., Портаев В.В., Синянский А.А. // Тр. конф. ЛЯН-92 (Обнинск, Россия). 1992. Т. 3. С. 98-106.
- [3] Магда Э.П. // Тр. конф. ЛЯН-92 (Обнинск, Россия). Т. 1. С. 65-74.
- [4] Alford W.J., Hays G.N. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 10. P. 3760-3766.
- [5] Heбner G.A., Hays G.N. // J. Appl. Phys. 1993. V. 73. N 8. P. 3614-3626.
- [6] Heбner G.A., Hays G.N. // J. Appl. Phys. 1993. V. 73. N 8. P. 3627-3635.
- [7] Воинов А.М., Довбыш Л.Е., Кривоносое В.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. В. 7. С. 422-424.
- [8] Oйwa M., Kushner M.J. // IEEE J. Quant. Electron. 1990. V. 26. N 9. P. 1639-1646.
- [9] Ковалев В.И. // Тр. ФИАН. 1982. Т. 136: С. 51-117.
- [10] Маевлютов А.А., Миськевич А.И., Саламата Б.С. // Опт. и спектр. 1994. Т. 76. № 6. С. 949-954.
- [11] Маевлютов А.А., Миськевич А.И., Саламата Б.С. // Тр. конф. ЛЯН-94 (Арзамас-16, Россия). 1994 (в печати).
- [12] Magda E.P., Grebeyonkin K.F., Kryzhanovsky V.A. // Proc. Int. Conf. "Lasers'90". San Diego, 1990. P. 827-834.

Московский
инженерно-физический
институт

Поступило в Редакцию
27 марта 1995 г.