

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ HF-ЛАЗЕР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В. Н. Баграташвили, И. Н. Князев, Ю. А. Кудрявцев,
В. С. Летохов

Впервые получена генерация электрохимического HF-лазера при давлении газа до 5,5 атм. Лазер возбуждался высоковольтным самостоятельным импульсным разрядом короткой длительности в смеси SF_6 , H_2 и He с большим избытком гелия. Исследовано влияние давления на энергетические характеристики и коэффициент усиления лазера.

Одной из актуальных проблем лазерной физики является поиск принципов создания газовых лазеров высокого давления. В работе Басова и сотрудников [1] был предложен электроионизационный метод возбуждения плотных газов с предварительной ионизацией газа пучком быстрых электронов. В данной статье впервые сообщается о создании электрохимического HF-лазера высокого давления с возбуждением в самостоятельном высоковольтном разряде наносекундной длительности¹⁾. Созданный лазер позволяет разработать перестраиваемый по частоте источник когерентного излучения в диапазоне 2,7 мкм.

Активной средой HF-лазера является газовая смесь $\text{SF}_6 + \text{H}_2 + \text{He}$, возбуждаемая быстрым разрядом. В процессе разряда от молекулы SF_6 отщепляется атом F, который реагирует с молекулой H_2 и в результате образуется колебательно-возбужденная молекула HF [3]. Рабочая кювета высокого давления возбуждалась импульсами отрицательного напряжения амплитудой до 250 кВ и длительностью 14 нсек с частотой повторения $0,05 \pm 1$ Гц (рис. 1). Импульс напряжения формировался с помощью коаксиальной линии Блюмляйна [4] длиной 100 см и волновым сопротивлением 10 Ом с касторовым маслом в качестве диэлектрика. Ударная емкость линии равна 340 пФ, а максимальная запасаемая энергия 20 Дж. Лазерная кювета склеена из стекла и металла с помощью эпоксидных компаундов. Верхний электрод представляет латунную сетку с разведенными и заостренными химическим травлением концами. Концы кюветы обрезаны под углом Брюстера и заклеены толстыми пластинами из NaCl. Расстояние между электродами 21 мм, активная длина 40 см²⁾. В экспериментах использовалась смесь $\text{SF}_6 + \text{H}_2 + \text{He}$ с большим избытком гелия в системе без прокачки.

¹⁾ Использование самостоятельного разряда наносекундной длительности для возбуждения молекулярных лазеров с перестройкой частоты в нашей ранней работе [2] не позволило поднять давление газа HF-лазера на смеси $\text{SF}_6 + \text{H}_2 + \text{He}$ выше 0,9 атм.

²⁾ Незначительная собственная индуктивность позволяет использовать кювету в системах возбуждения самостоятельным разрядом субнаносекундной длительности. Упрощенный вариант кюветы испытан до давления 35 атм.

Зависимость энергии лазерного импульса от напряжения при различном полном давлении смеси $SF_6 + H_2 + He$ и фиксированном парциальном давлении SF_6 и H_2 (0,22 и 0,056 атм соответственно) приведена на рис. 2. Кривая энергии импульса генерации при напряжении 150 + 200 кВ имеет тенденцию к насыщению. Оптимальные условия возбуждения достигаются с большим избытком гелия, особенно при полном давлении смеси ≈ 2 атм, и с относительным преобладанием SF_6 . Коэффициент усиления и энергия импульса генерации уменьшаются при увеличении полного давления смеси ($P_{SF_6} + P_{He} = const$). По абсолютной величине коэффициент усиления остается относительно высоким: $K = 0,02$ см⁻¹ при $P = 3,5$ атм. При давлении смеси $\approx 3,5$ атм нестабильность энергии импульса генерации возрастает, однако, генерация наблюдается до давления 5,5 атм. При частоте повторения 0,2 Гц энергия лазерного излучения уменьшается на 40% за 50 импульсов возбуждения. При увеличении давления лазерной смеси выше 0,2 + 0,4 атм происходит постепенное уменьшение яркости свечения диффузного бесструктурного разряда и относительное увеличение яркости искровых каналов.

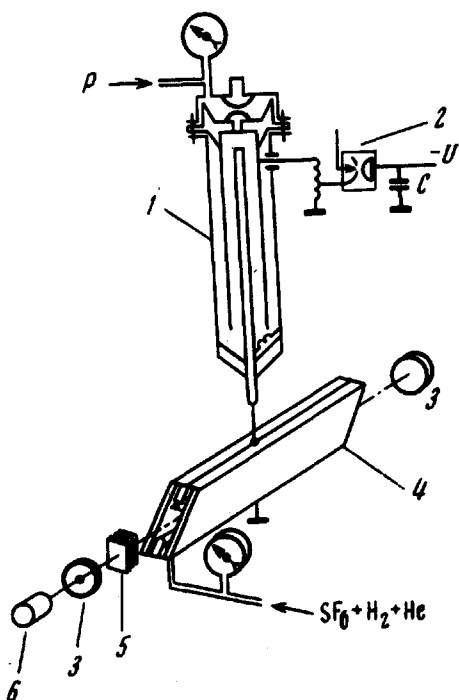


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — коаксиальная линия Бломляйна, 2 — цепь зарядки, 3 — зеркала лазера, 4 — лазерная кювета, 5 — набор пленок из тефлона толщиной 35 мкм для измерения коэффициента усиления, 6 — термостолбик

Наблюдавшееся в экспериментах уменьшение энергии лазерного излучения и коэффициента усиления при увеличении парциального давления гелия можно связать с увеличением ударной ширины лазерных линий, а также с уменьшением концентрации активных молекул в связи с общим ослаблением тока в однородном разряде. Характерное время дезактивации возбужденных молекул при столкновениях с гелием τ_{HF}^{*He} , по-видимому, превышает $2 \cdot 10^{-5}$ сек · атм¹), что на три порядка боль-

1) Для аргона $\tau_{HF}^{(1)} Ar = 2,2 \cdot 10^{-5}$ сек · атм [5].

ше, чем время дезактивации молекулы HF водородом [5]. При парциальном давлении водорода $0,05 \text{ атм}$ дезактивирующим влиянием гелия можно пренебречь до давления $P_{\text{He}} \approx 10 \text{ атм}$.

Ширина лазерных линий при $P_{\text{He}} \geq 1 \text{ атм}$, $P_{\text{SF}_6} + P_{\text{H}_2} \approx 0,2 \text{ атм}$ определяется давлением гелия и равна $(\Delta\nu) = (\delta_{\text{SF}_6} \cdot P_{\text{SF}_6} + \delta_{\text{He}} \cdot P_{\text{He}})$, где δ — параметр уширения, $\delta_{\text{He}}/\delta_{\text{SF}_6} = 0,2$. Экспериментально измеренная зависимость коэффициента усиления лазера от давления в области $P \leq 2,5 \text{ атм}$ удовлетворительно описывается множителем $C(\Delta\nu)^{-1}$, C — нормировочный множитель (кривые 1, 2 рис. 3) и связана преимущественно с ударным уширением лазерных линий гелием. Более резкий спад коэффициента усиления при $P \geq 2,5 \text{ атм}$ связан, по-видимому, с уменьшением инверсной заселенности из-за снижения концентрации продуктов диссоциации молекул SF_6 и H_2 в однородном разряде с меньшей плотностью тока.

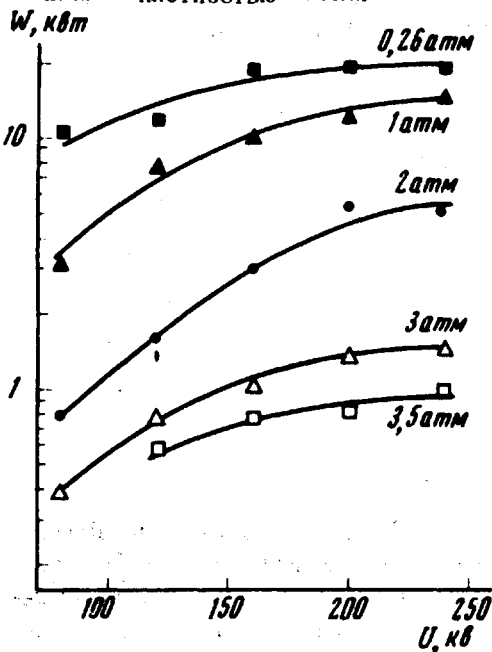


Рис. 2. Зависимость мощности импульса генерации W от напряжения зарядки линии U при различном давлении смеси

Увеличение давления смеси за счет повышения давления водорода нецелесообразно из-за сильного тушащего действия с характерным временем $\tau_{\text{HF} \cdot \text{H}_2} = 55 \text{ нсек} \cdot \text{атм}$ [5]. Использование с этой целью добавок SF_6 также невыгодно из-за ухудшения разряда.

Описанные эксперименты открывают возможность создания лазера с перестраиваемой частотой в области около $2,7 \text{ мкм}$. Параметр уширения линий HF гелием ориентировочно равен $0,1 \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$. Это должно обеспечить перестройку в пределах $0,5 \pm 0,6 \text{ см}^{-1}$ около центра каждой из колебательно-вращательных линий полос (3,2); (2,1) и т. д. в области спектра $2,70 - 3,0 \text{ мкм}$. По аналогичной схеме может быть создан лазер на DF ($3,7 - 4,0 \text{ мкм}$), а также лазеры на изотопических молекулах HCl^{35} , HCl^{37} ($3,6 - 4,0 \text{ мкм}$); DCl^{35} , DCl^{37} ($5,0 - 5,4 \text{ мкм}$) и соединениях Br^{79} и Br^{81} (область спектра $4,0 - 4,5 \text{ мкм}$; $5,5 - 6,2 \text{ мкм}$) [6]. Для увеличения области перестройки вместо гелия целесообразно

использовать Kr и Xe, обладающие большей величиной параметра уширения ($\sim 0,15 \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$ и $\sim 0,24 \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$ соответственно для перехода (2,0) [7]).

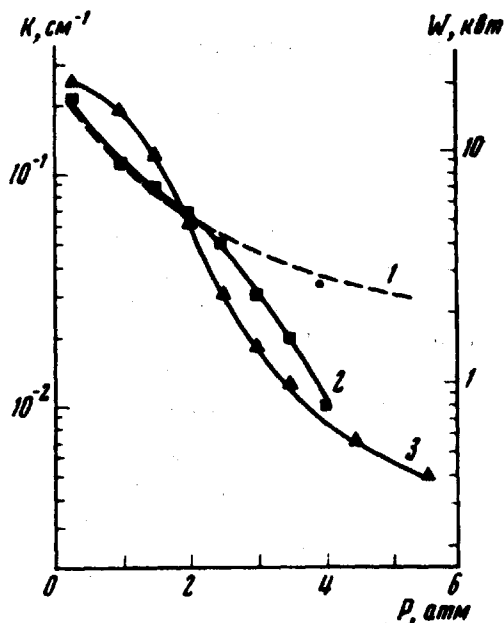


Рис. 6. Зависимость коэффициента усиления лазера (кривая 2) и энергии импульса генерации (кривая 3) от давления смеси при $P_{\text{SF}_6} + P_{\text{H}_2} = 0,26 \text{ атм}$ и максимальном напряжении зарядки линии. Кривая 1 соответствует зависимости ширины лазерной линии $\Delta\nu_{l,j}$ от давления смеси

Отметим, что наблюдавшееся уменьшение коэффициента усиления HF-лазера при увеличении давления смеси с точки зрения создания перестраиваемого лазера является выгодным, так как резко уменьшается возможность возникновения суперлюминесцентного излучения с неуправляемым спектром.

Авторы благодарят А. И. Корнилову за участие в начальной стадии работы.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 июня 1973 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, Е.М.Беленов, В.А.Данилычев, О.М.Керимов, И.Б.Ковш, А.Ф.Сучков. Письма в ЖЭТФ, 14, 421, 1971.
- [2] V.N.Bagratashvili, I.N.Knyazev, V.S.Letokhov. Opt. Commun., 4, 154, 1971.
- [3] T.E.Deutsch. Appl. Phys. Lett., 10, 234, 1967.
- [4] Б.М.Ковальчук, В.В.Кремнев, Г.А.Месяц ДАН СССР, 191, 76, 1970.
- [5] J.K.Hancock, W.H.Green. J.Chem Phys., 57, 4515, 1972.
- [6] O.R.Wood, T.Y.Chang. Appl. Phys. Lett., 20, 77, 1972.
- [7] T.A.Wiggins, N.C.Griffen, E.M.Arlin. D.L.Kerstetter. J. Mol. Spectr., 37, 77, 1970.