Math-Net.Ru
Общероссийский математический портал

С. И. Заворотный, Г. П. Мхеидзе, А. А. Овчинников, А. А. Савин, Комбинированная генерация лазера с пучковым инициированием,
Письма в ЖТФ, 1985, том 11, выпуск 17, 1053–1057

https://www.mathnet.ru/pjtf980

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
https://www.mathnet.ru/rus/agreement

Параметры загрузки:
IP: 18.97.14.82
11 декабря 2025 г., 00:01:49

[4] Yoshimi M., Kawabuchi K., Takigawa T., Takahashi M., Kato Y. Electron. Lett., 1982, v. 18, N 20, p. 880-882.
[5] Randall J.N., Flanders D.C., Economou N.P., Donnelly J.P., Bromley E.I. - Appl. Phys. Lett., 1983, v. 42, N 5, p. 457-459.
[6] Валиев К.А., Великов Л.В., Махмутов Р.Х., Раков А.В. - ДАН, т. 262, № 6, с. 1377-1380.
[7] Kendall D.L. - Ann. Rev. Mater. Sci., 1979, N 9, p. 373-403.
[8] Rossi B., Creisen K. - Rev. Mad. Phys., 1941, v. 13, N 4, p. 262-268.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
20 июня 1985 г.

Письма в ЖТФ, том 11, вып. 17 12 сентября 1985 г.

КОМБИНИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЛАЗЕРА С ПУЧКОВЫМ ИНИЦИИРОВАНИЕМ

С.И. Заворотный, Г.П. Мхеидзе,
А.А. Овчинников, А.А. Савин

Инициирование реакций в химических лазерах, накачка эксимерных и других мощных газовых лазеров является одним из перспективных применений сильноточных релятивистских электронных пучков (РЭП) [1 - 2].

В данной работе описываются эксперименты по исследованию возможности получения лазерного излучения одновременно в двух активных средах (на колебательно-возбужденных молекулах HF и на электронных переходах эксимерных молекул XeF и KrF). Возможность комбинированной генерации была не очевидна, и исследование таких лазеров представляется интересным как с физической, так и прикладной точек зрения. Кроме того, при разлете атомов, образующих нижнее состояние эксимерной молекулы, образуется атом F , утилизируемый при химической реакции с молекулой H_2.

Схема экспериментальной установки [3] представлена на рис. 1. Пучок ускорителя „Терек-1Р" [4] инжектировался в пролетную камеру 1, заполненную гелием при давлении 5-10 тор. Параметры инжектируемого пучка: ток пучка 15-25 кА, энергия электронов 1.2-1.5 МэВ, длительность импульса ~ 60 нс. Поворот пучка в лазерную камеру 2 осуществлялся магнитной катушкой 3 . В лазерной камере РЭП транспортировался в продольном магнитном поле

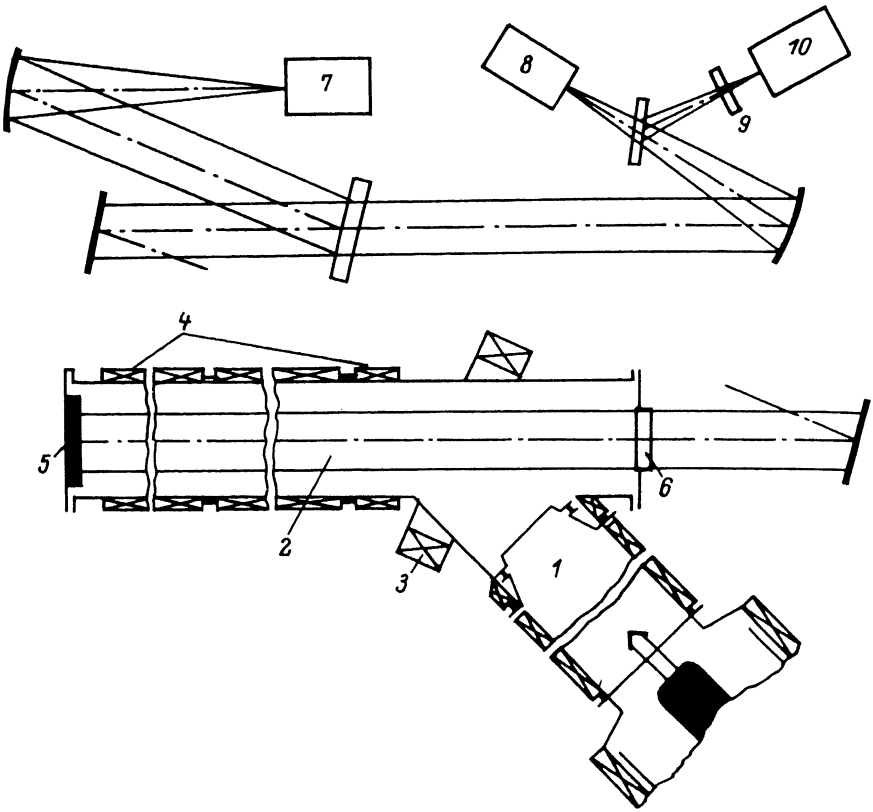

Рис. 1. Схема эксперимента. 1 – пролетная камера (He , p = = 5–10 тор), 2 – лазерная камера (длина 200 см, диаметр 12,8 см), 3, 4 – магнитные катушки, 5 – Al –зеркало, 6 – пластина (LiF, коэффициент отражения 5%), 7 – калориметр ИМО–2, 8 – Ge-Au - приемник, 9 – ИК–фильтр, 10 – фотокатод ФЭК–09У.

~ 6 кГс, создаваемом катушками 4. Резонатор образован зеркалом 5 и плоскопараллельной пластиной 6 из LiF с коэффициентом отражения 5%. Энергия лазерного излучения измерялась калориметром 7 (ИМО–2). Временные характеристики инфракрасного излучения определялись $GeAu$ –детектором 8, а временные характеристики генерации эксимерных молекул регистрировались защищенным ИК–фильтром 9 фотокатодом 10 (ФЭК–09У). По изменению давления газа, измеренного дифференциальным манометром, определялась энергия, переданная пучком газу [4]. Напряжение и токи измерялись емкостным делителем и токовыми шунтами.

Для получения одновременной генерации в одной, общей для обоих типов лазеров газовой смеси, последняя должна содержать компоненты активной среды как химического, так и эксимерного лазера.

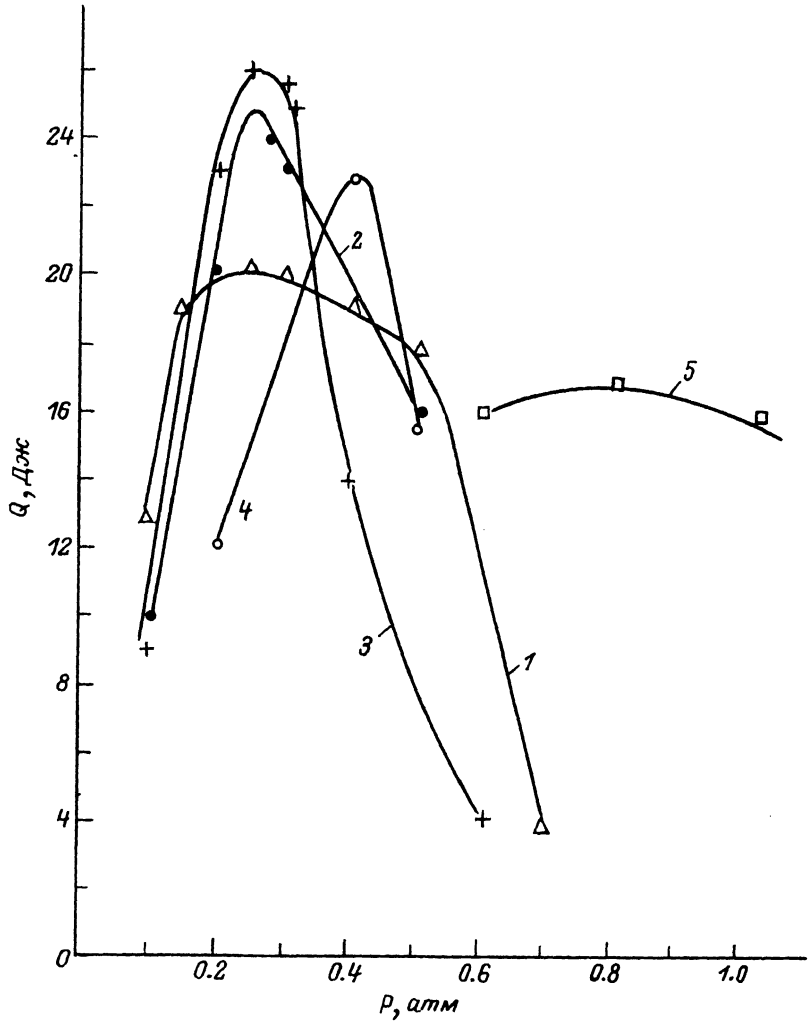

Рис. 2. Зависимость энергии генерации HF лазера от давления. 1 – SF_6 : H_2 = 14:1, 2 – SF_6 : H_2 = 10:1, 3 – SF_6 : H_2 = 7:1, 4 – SF_6 : H_2 : Kr = 7:1:7, 5 – SF_6 : H_2 : He = 7:1:6.

В нашем случае это смесь SF_6 : Xe (Kr): He : H_2 . Сложность подбора общего давления и соотношения компонент рабочей смеси состоит в том, что если для эффективной генерации HF-лазера давление используемого фторагента должно составлять 0.2–1 атм, а в буферном газе вообще нет необходимости, то для работы эксимерного лазера давление фторсодержащего компонента должно быть, по крайней мере, на порядок меньше давления рабочего инертного газа и на два порядка меньше давления буферного газа [2].

Реализации комбинированного лазера предшествовали измерения энергии излучения „чистых" химического и эксимерного лазеров. На рис. 2 представлены зависимости Q (p) энергии химического лазера ($\lambda \simeq 3$ мкм) от давления для смесей, отличающихся соотношением SF_6 и H_2 (кривые 1-3) и наличием буферного газа (Kr , кривая 4, и He , кривая 5). Зависимость Q (P) для двухкомпонентных смесей имеет максимум Q_m в области 0.2-0.3 атм и наибольшее значение энергии наблюдается при соотношении компонент 7:1. Дальнейшее уменьшение отношения SF_6 к H_2 ведет к уменьшению энергии генерации. Измерения энерговклада показали [3], что при давлении, соответствующем Q_m , энерговклад достигает максимума, и дальнейший рост давления не ведет к его увеличению. С увеличением давления сокращается область, занятая пучком (следовательно, активированной рабочей средой), вследствие чего уменьшается Q.

При добавлении буферного инертного газа (рис. 2, кривые 4, 5) максимумы Q (p) смещаются в сторону больших давлений, причем тем больше, чем легче трехкомпонентная смесь. Если учесть, что рассеяние пучка зависит от среднего заряда смеси, такое смещение Q_m представляется естественным. Наличие тяжелого буферного газа несколько уменьшает энергию генерированного лазерного излучения (рис. 2, кривая 4). Добавка гелия снижает генерацию в 1.5-2 раза, что, по-видимому, связано с сильной дезактивацией колебательно возбужденных молекул HF на атомах He.

Электрический КПД химического лазера, т.е. отношение энергии лазера к энерговкладу пучка в газ, составлял в максимуме 5-7%.[1] Длительность импульса была ~300 нс.

В той же экспериментальной системе были проведены измерения энергии генерации эксимерных лазеров на молекулах XeF ($\lambda \simeq$ $\simeq 0.35$ мкм) и KrF ($\lambda \simeq 0.25$ мкм).

В смеси $SF_6 : Xe : He = 1:3:26$ при общем давлении 1.25 атм была получена энергия излучения ~ 0.2 Дж с электрическим КПД $\simeq 0.1\%$. В смеси $SF_6 : Kr : Ar = 1:50:300$ $Q \simeq 0.6$ Дж и КПД $\simeq 0.2\%$ ($p \simeq 1$ атм).

Как было указано выше, в комбинированном лазере для эффективной генерации химического лазера необходимо уменьшить парциальное давление буферного газа эксимерного лазера. При этом, естественно, падает эффективность последнего. Так, в смеси $SF_6 : Xe :$ $: He = 6:18:36$ при $p \simeq 1$ атм было получено $Q \simeq 0.1$ Дж с КПД $\approx$ $\simeq 0.07\%$. Добавляя в указанную смесь водород ($SF_6 : Xe : He : H_2 =$ $= 6:18:36:1$), при $p \simeq 1$ атм одновременно с генерацией на молекулах XeF наблюдалась генерация на HF с энергией ~ 16 Дж

---

[1] Отношение объема лазерной камеры (в которой измерялся энерговклад) к объему каустики (соответственно энергия лазера) составляет ~1.5. Поэтому оценка КПД лазера занижена, но не более чем в 1.5 раза.

(КПД ≈ 5%). Одновременная генерация регистрировалась $Ge-Au$-приемником и фотокатодом ФЭК-09У.

Наблюдения генерации молекул HF и XeF совместно в комбинированной смеси, а также раздельно в смесях, из которых был исключен Xe или H_2, показали, что одновременная генерация не влияет на параметры каждого лазера в отдельности.

Нами не проводились работы по оптимизации излучения комбинированного лазера изменением состава и рабочей смеси, соотношения компонент, энергий и тока, инжектируемого в лазерную камеру РЭП. Однако уже из приведенных выше результатов можно сделать вывод, что использование РЭП с большей энергией, способного возбуждать большие объемы смеси при более высоком давлении, позволит получить комбинированную генерацию с параметрами, близкими к оптимальным.

Подобные системы могут найти применение в приложениях, связанных с взаимодействием излучения с веществом, в частности с плазмой, в силу большой разницы в частотах лазерного излучения и, соответственно, разными механизмами воздействия на вещество.

Литература

[1] Башкин А.С., Игошин В.И., Ораевский А.Н., Щеглов В.А. Химические лазеры. – М.: Наука, 1982.

[2] Лакоба И.С., Яковленко С.И. Активные среды эксиплексных лазеров. – Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 4, с. 677–720.

[3] Заворотный С.И., Ипатов А.Л., Мхеидзе Г.П., Овчинников А.А., Савин А.А. SF_6+ + H_2 лазер, инициируемый сильноточным РЭП. – Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, вып. 1, с. 46–49.

[4] Бондарь Ю.Ф., Заворотный С.И., Ипатов А.Л., Мхеидзе Г.П., Овчинников А.А., Савин А.А. Исследование транспортировки РЭП в плотном газе. – Физика плазмы, 1982, т. 8, № 6, с. 1192–1197.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
24 мая 1985 г.