

02;04;07

Влияние буферного газа аргона и УФ-предыонизации на параметры излучения электроразрядного ХеСІ-лазера

© А.И. Федоров

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Поступило в Редакцию 24 февраля 2000 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований разряда и выходных параметров излучения ХеСІ-лазеров в зависимости от буферных газов аргона и неона, а также от типа и параметров источника предыонизации для быстрого и квазистационарного режимов возбуждения. Определены области удельных энерговкладов для неоновых и аргоновых смесей от 10 до $125 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ и от 45 до $360 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ соответственно.

Показано, что в аргоновых и неоновых смесях удельные параметры излучения зависят от энергии, затрачиваемой на УФ-предыонизацию. Так, для аргоновых смесей при условии использования мощных источников предыонизации удельные параметры генерации могут превышать аналогичные параметры неоновых смесей.

Повышение надежности и экономичности широкоапертурных и высокоэнергетических эксимерных лазеров является основным условием их широкого применения в новых технологиях. Недостаточная надежность эксимерных лазеров связана с высоким давлением газа в разрядных камерах и с высоким зарядным напряжением, а низкая экономичность обусловлена значительным расходом дорогих инертных газов. В настоящее время в качестве буферного газа в основном используется неон, хотя неон — самый дорогой в семействе буферных газов. Использование неона связано с тем, что с ним обеспечиваются как высокая однородность разряда, так и максимальные параметры излучения. В работах [1–7] была показана перспективность применения буферного газа аргона для электроразрядного ХеСІ-лазера. Ясно, что экономичность эксплуатации лазеров существенно возрастает, если заменить неоновые смеси на более дешевые аргоновые.

В данной работе приведены результаты исследования самостоятельного разряда и параметров излучения в аргоновых смесях для двух режимов возбуждения и для различных источников УФ-предыонизации.

По мнению авторов [9,10], проблемы получения объемных разрядов в аргоновых эксимерных смесях, связанные с развитием ионизационных неустойчивостей и образованием токовых шнуров, резко упрощаются при учете фотоионизационных процессов, которые могут их компенсировать или задерживать. В свою очередь усиления фотоионизационных процессов зависят от типа и энергии источника предыонизации. Условно интенсивность фотоионизации можно характеризовать соотношением энергий, вкладываемых в предыонизацию (W_1) и основной разряд (W_2), а отношение W_1/W_2 можно взять в качестве параметра, определяющего свойства источника возбуждения. Были проведены исследования влияния фотоионизации в аргоновых и неоновых смесях на параметры разряда и генерацию ХеСl-лазера для быстрого и квазистационарного режимов возбуждения.

Для быстрого режима возбуждения активного объема $1.4 \times 0.7 \times 25$ см применялся двойной генератор Блюмляйна. УФ-предыонизация лазерного промежутка обеспечивалась дополнительным источником коронного разряда, ограниченного перфорированным электродом. Электрическая схема и ее конструктивные особенности приведены в работе [11]. Изменение емкости УФ-предыонизатора позволяло регулировать энергию, затрачиваемую на нее. Она равнялась 10–15% от энергии, вкладываемой в разряд, величина которой не превышала 50% от энергии, запасаемой в генераторе питания. Автоматическая УФ-предыонизация поддерживалась лишь в начальной стадии разряда. На рис. 1 приведены зависимости удельной энергии излучения от удельной энергии, вкладываемой в разряд, для аргона и неона при разной интенсивности коронной УФ-предыонизации. Величина удельного энерговклада изменялась за счет рабочего давления и зарядного напряжения. Для неона область удельных энерговкладов изменялась от 10 до $25 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$, а для аргона от 45 до $100 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$. Для аргоновых смесей наблюдался оптимальный энерговклад порядка $90 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$. Аналогичные зависимости наблюдались для большей интенсивности УФ-предыонизации, но при меньших удельных энергиях излучения. Это связано с особенностями схемы питания, используемой для реализации быстрого разряда. Максимальные удельные энергии

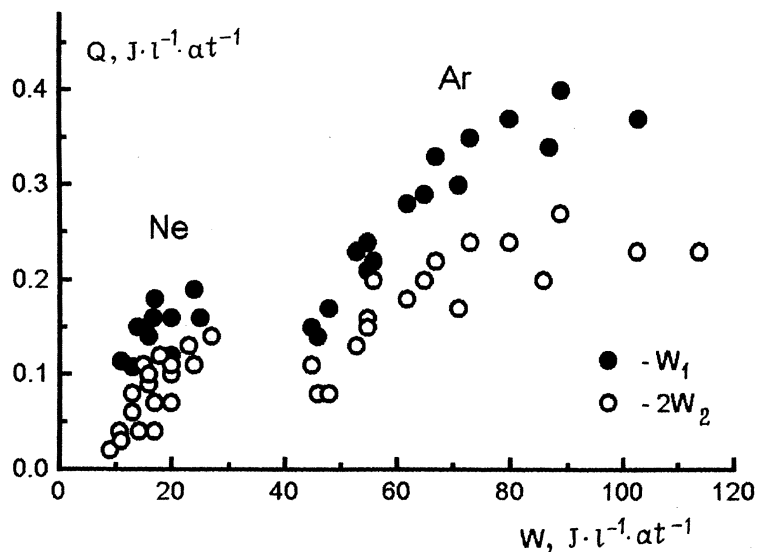


Рис. 1. Зависимости удельной энергии излучения от удельного энерговклада для буферных газов неона и аргона в смесях $\text{Xe}:\text{HCl} = 5:1$ (4 Torr) для XeCl -лазера с коронной УФ-предыонизацией, где W_1 — энергия, затрачиваемая на предыонизацию.

излучения наблюдались с аргоном независимо от интенсивности УФ-предыонизации, что, видимо, связано с большей скоростью фотоионизации в аргоновых смесях по сравнению с неоновыми [8].

Для квазистационарного режима возбуждения активного объема $3 \times 1.5 \times 35 \text{ cm}$ использовался двухконтурный генератор питания с накопительной емкостью, равной 75 nF, и обострительной — 10 nF. УФ-предыонизация лазерного промежутка обеспечивалась двумя рядами искровых разрядов по поверхности диэлектрика, ограниченного перфорированным электродом. Более подробно особенности квазистационарного режима возбуждения и схемы питания приведены в работе [12]. Автоматическая УФ-предыонизация поддерживалась в течение всего разряда, и энергия, затрачиваемая на нее, примерно соответствовала энергии, вкладываемой в газ. Максимальная энергия излучения была

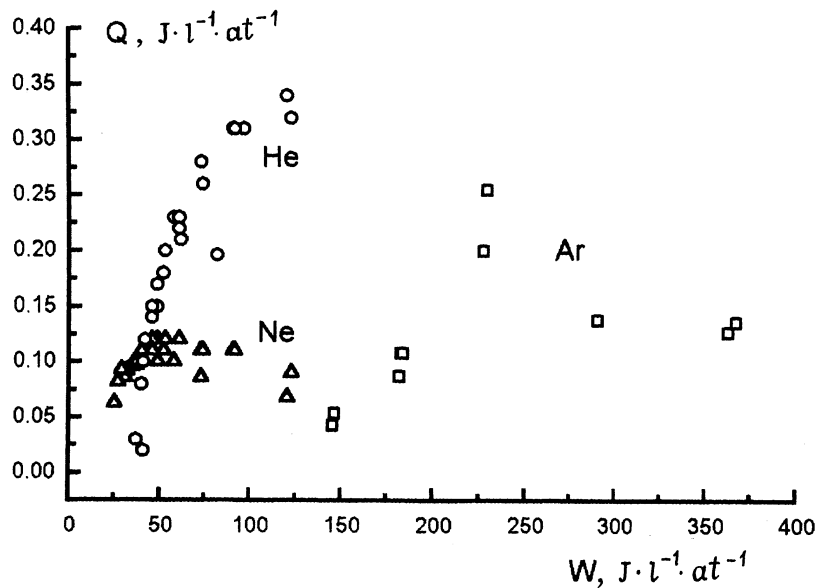


Рис. 2. Зависимости удельной энергии излучения от удельного энерговклада в разряд для буферных газов неона, гелия и аргона в смесях Хе:НСl = 10:1 (3 Torr) для ХеСl-лазера с искровой УФ-предыонизацией.

зарегистрирована с гелием при давлении 3 at, с аргоном — 0.8 at и с неоном — 5 at. Для всех газов наблюдалась квазистационарная стадия разряда, длительность которой была максимальна с неоном и равнялась 200 ns. Однако длительность импульсов генерации была различна: для гелия она составляла 35 ns; аргона — 50 ns и неона — 100 ns. Это связано с особенностями работы источника питания, обеспечивающего высокие плотности разрядного тока ($\sim 1-2 \text{ kA} \cdot \text{cm}^{-2}$), которые ограничивали длительность импульсов генерации. На рис. 2 приведены зависимости удельной энергии излучения от удельного энерговклада в разряд для буферных газов He, Ne и Ar. Оказалось, что максимальная удельная энергия излучения $0.35 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ наблюдалась для гелиевых смесей в быстром режиме возбуждения. Область энерговкладов изменялась от 35 до $125 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$, при этом максимальные параметры излучения были получены при максимальных энерговкладах. Для неоновых смесей

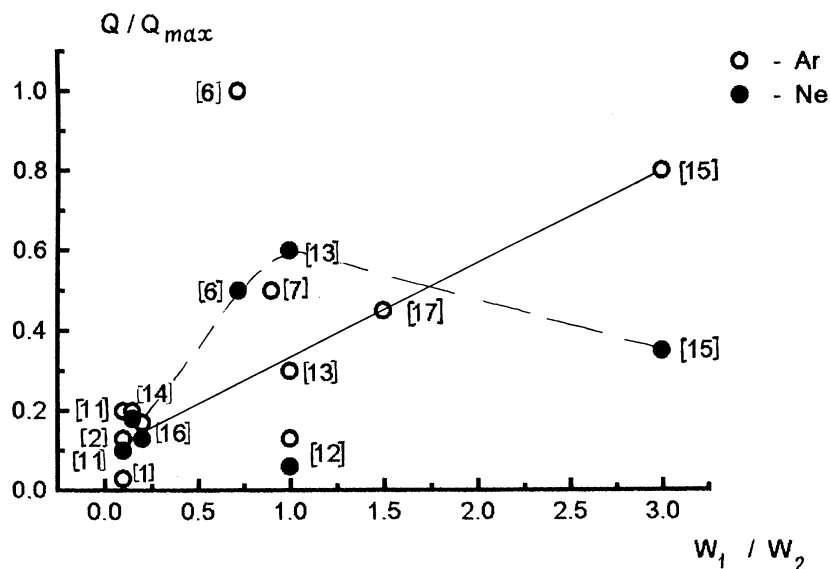


Рис. 3. Зависимости удельной энергии излучения, нормированной к максимальной, для XeCl-лазера с буферными газами аргоном и неоном от удельного энерговклада, затрачиваемого на предыонизацию и нормированного к энергии, вложенной в разряд, согласно работам [1,2,6,7,11–17].

область удельных энерговкладов изменялась от 25 до $125 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ при оптимуме $50 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$, которому соответствовала энергия излучения $0.125 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$. В них обеспечивался квазистационарный режим возбуждения и генерации. Для аргоновых смесей область энерговкладов изменялась от 180 до $360 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ при оптимуме $225 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ с энергией излучения $0.25 \text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$ при быстром режиме возбуждения.

На основании полученных данных и результатов других авторов был сделан анализ зависимостей удельной энергии излучения от удельных энерговкладов в разряд с буферными газами Ar и Ne для разных типов предыонизации и величины энергии, затрачиваемой на нее. Предполагалось, что в активную среду вкладывалось до 50% энергии от запасаемой источником питания. Увеличение энергии на предыонизацию приводило к уменьшению практического КПД лазера, поэтому такие

режимы почти не рассматривались. Однако при анализе работ оказалось, что энергия, затрачиваемая на предыонизацию, изменяется в широком диапазоне. Можно выделить три характерных случая: 1 — $W_1 < W_2$; 2 — $W_1 = W_2$; 3 — $W_1 > W_2$. Так, на рис. 3 для аргона и неона приведены зависимости удельной энергии излучения, нормированной к максимальной ($2\text{ J} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{at}^{-1}$) [6], от удельного энергозатрата, затрачиваемого на предыонизацию и нормированного к энергии, вложенной в разряд, согласно работам [1,2,6,7,11–17]. Первый случай, когда $W_1 = 0.1–0.2W_2$, который обычно используется исследователями и позволяет получать почти соизмеримые удельные параметры излучения как с аргоном, так и с неоном. Второй случай, когда $W_1 = W_2$, который позволяет получать удельные параметры излучения с аргоном в 2 раза выше, чем с неоном [6,7,12]. Исключение составляет лишь работа [13], в которой для плазменных электродов получен обратный результат, что, видимо, связано с их особенностями работы. Третий случай, когда $W_1 > W_2$, который также позволяет получать значительно выше удельные параметры излучения с аргоном, чем с неоном [15,17].

Таким образом, анализ аргоновых и неоновых смесей показывает, что удельные параметры излучения зависят от энергии, затрачиваемой на УФ-предыонизацию. Кроме того, можно сделать вывод о том, что для аргона с ростом энергии, затрачиваемой на предыонизацию, линейно растет удельная энергия излучения, а для неона наблюдается оптимум при $W_1 = W_2$.

На основании проведенных исследований был разработан малогабаритный ХеСл-лазер с длительностью импульсов генерации 60 ns и частотой следования 50 Hz. В аргоновых смесях при давлении 1 at получена максимальная средняя мощность излучения 2.5 W. Такая же мощность была зарегистрирована в неоновых смесях, но при давлении 2.5 at.

Список литературы

- [1] Федоров А.И., Тарасенко В., Бычков Ю.И. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. В. 3. С. 132–135.
- [2] Бычков Ю.И., Коновалов И.Н., Лосев В.Ф. и др. // Изв. АН СССР. Сер. Физика. 1978. Т. 42. № 12. С. 2493–2498.
- [3] Тарасенко В.Ф., Тельнов В.А., Федоров А.И. // Изв. вузов. Физика. 1979. № 6. С. 91–93.
- [4] Костин М.Н., Тарасенко В.Ф., Федоров А.И. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 6. С. 1227–1229.

- [5] Тарасенко В.Ф., Федоров А.И., Грузинский В.В. и др. // Изв. вузов. Физика. 1980. № 8. С. 121–122.
- [6] Sze R.C. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 7. P. 4596–4598.
- [7] Ефимовский С.В., Жигалкин А.К., Сидоров Ю.Л. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. В. 11. С. 664–668.
- [8] Леб Л. Основные процессы электрических разрядов в газах / Пер. с англ. М.: Гостехиздат, 1950. 485 с.
- [9] Басов Н.Г., Готов Е.П., Данилычев В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. В. 8. С. 449–453.
- [10] Багинский В.М., Басов Н.Г., Головинский П.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. С. 627–631.
- [11] Федоров А.И. // Опт. атм. и океан. 1999. Т. 12. № 11. С. 1020–1023.
- [12] Федоров А.И. // Опт. атм. и океан. 1997. Т. 10. № 11. С. 1274–1284.
- [13] Федоров А.И. Автореф. канд. дис. Томск, 1982. 17 с.
- [14] Fedorov A.I. // Proceedings of "Atomic and Molecular Pulsed Lasers". 4-th International Conference. Tomsk, Russia. 1999. P. 22.
- [15] Steyr M., Voqes H. // Appl. Phys. 1987. B42. P. 155–160.
- [16] Артемьев М.Ю., Грасюк А.З., Нестеров В.М. // Квант. электр. 1989. Т. 16. № 12. С. 2374–2378.
- [17] Koprinkov I.G., Stankov K.A. // Printed in the UK. 1986. P. 907–911.