

Э. Г. БАТЫРБЕКОВ

КСЕНОНОВЫЕ ЯДЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

1. Введение. Существуют два возможных пути преобразования ядерной энергии в энергию когерентного оптического излучения: прямая и комбинированная ядерные накачки. Прямая ядерная накачка - это такой способ преобразования ядерной энергии, когда энергия ядерных реакций непосредственно идет на ионизацию и возбуждение атомов и молекул буферного газа, а затем трансформируется в цепочке плазмохимических процессов в инверсию заселенностей и когерентное излучение. При комбинированной ядерной накачке энергия ядерных реакций расходуется на ионизацию активной лазерной среды, а накачка осуществляется электрическим разрядом [1].

В настоящей работе рассматривается концепция одновременного использования как прямой, так и комбинированной ядерных накачек ядерно-оптических преобразователей на атомарных переходах ксенона, что позволит использовать преимущества и устранить недостатки обоих вышеописанных вариантов. В дополнение к лазерному излучению, для ряда различных приложений можно использовать ядерно-возбуждаемые источники спонтанного излучения. Основное преимущество ядерно-возбуждаемых источников спонтанного излучения по сравнению с лазерами с ядерной накачкой - простота конструкций. Причем спонтанное излучение можно получать из лазерной кюветы с узкополосными диэлектрическими зеркалами при подпороговых потоках нейтронов. Ниже описываются наши достижения в преобразовании ядерной энергии в энергию оптического излучения при использовании ядерно-возбуждаемой активной среды Ag-Xe.

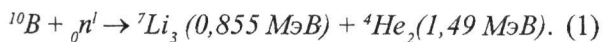
2. Ядерно-возбуждаемая лампа. Одной из особенностей спектра люминесценции лазерной смеси Ag-Xe является сильные широкополосные излучения, которые впервые были исследованы при возбуждении электрическим разрядом (давление смесей до 10 Тор) [2]. Наблюдались пять полос, обозначенные А (с максимумом при $\lambda=329$ нм), В ($\lambda=346$ нм), С ($\lambda=349$ нм), D ($\lambda=508$ нм), Е ($\lambda=545$ нм), приписанные переходам ионной гетероядерной молекулы AgXe^+ , причем, А и D полосы излучаются с состояния с пределом диссоциации $\text{Ag}^+(^2P_{1/2})+\text{Xe}(^1S_0)$, а В, С и Е - с состояния,

диссоциирующего на $\text{Ag}^+(^2P_{3/2})+\text{Xe}(^1S_0)$. Эти полосы были сравнимы в условиях эксперимента [2] по интенсивности. В условиях наших экспериментов [3] наблюдались полосы А и D, отсутствовали полосы В, С и Е (или, по крайней мере, на три порядка уступали полосе А), что связано в первую очередь с различием механизма возбуждения и указывает на то, что при ионизации аргона жестким ионизатором преимущественно образуются ионы в состоянии $\text{Ag}^+(^2P_{1/2})$ или при высоком давлении газа происходит быстрая релаксация состояний атомарных или молекулярных ионов, обеспечивающих излучение в полосах В, С и Е. Обнаруженная нами одинаковая зависимость интенсивности полос А и D от давления ксенона в смеси подтверждает вывод, о том, что они излучаются с одного уровня. Интенсивность полосы D приблизительно в 17 раз слабее интенсивности полосы А (интенсивность определялась в фотонах/с).

Отношение мощности излучения в полосе А к вложенной в газ мощности (η_A) определялась из сравнения с интенсивностью второй положительной системы азота в смеси $\text{Ag}+\text{N}_2$. Для смеси Ag-Xe(30 Тор) при общем давлении смеси 1,5 Атм измеренное значение η_A составило ~ 5%. Большая величина η_A свидетельствует о высокой эффективности процессов образования ионной гетероядерной молекулы AgXe^+ и устойчивости возбужденного состояния молекулы, с которого излучаются полосы 329 и 508 нм. Высокая селективность возбуждения полос 329 нм и 508 нм смеси Ag-Xe в сочетании с отсутствием наработки стабильных химических соединений в процессе облучения указывает на возможность использования гетероядерных молекул AgXe^+ в качестве рабочего вещества ядерно-возбуждаемого источника некогерентного оптического излучения.

3. Лазер с прямой ядерной накачкой. В настоящее время генерация с прямой ядерной накачкой получена на шести различных переходах системы 5d-6р переходов атома ксенона. Наиболее интенсивными из них являются переходы с длинами волн 1.732, 2.026 и 2.652 мкм. В качестве источников накачки использовались продукты ядерных реакций $^{235}\text{U}(n,f)\text{F}$ и $^3\text{He}(n,p)\text{T}$ [1].

Совместно с сотрудниками Иллинойского университета нами была впервые получена генерация на 5d-6p переходах XeI с $\lambda = 1,73$ мкм с возбуждением продуктами ядерной реакции [4]:



Эксперименты проводились на реакторе TRIGA Иллинойского университета США. Эксперименты проводились при работе реактора в импульсном режиме со следующими параметрами: пиковая мощность - 1600 МВт, пиковое значение потока тепловых нейтронов $2,5 \times 10^{15}$ н/(см²·с), длительность нейтронного импульса на высоте 12,1 мс. Генерация была получена на 5d[3/2]₁-6p[5/2]₂ переходе атома ксенона с длиной волны 1,73 мкм на смеси Ag-Xe. Осциллограмма сигнала генерации и импульса нейтронов показана на рис. 1. В экспериментах использовался резонатор с диэлектрическими зеркалами с коэффициентами отражения 99,9 и 90,0% на длине волны 1,73 мкм. Генерация возникала при потоке тепловых нейтронов 7×10^{14} нейтронов/(см²·с), что соответствует значению удельной мощности накачки 2,6 Вт/см³. При использовании резонатора с нулевыми потерями значение порогового потока нейтронов составляло 1×10^{14} н/(см²·с) или 0,44 Вт/см³, что хорошо согласуется с результатами экспериментов других исследователей, использовавших в качестве источника накачки ²³⁵U [5].

4. Лазер с комбинированной ядерной накачкой. Возможность работы электроионизационного лазера на атомарных переходах ксенона с ионизацией активной среды электронным пучком с низкой плотностью тока $j = 0,013 \div 1,7$ А/см² была продемонстрирована в [6]. Нами была впервые продемонстрирована возможность реализации такого метода накачки при использовании стационарного ядерного реактора с уровнем ионизации, соответствующим более низким плотностям тока ≤ 1 А/см² при ионизации электронным пучком [7].

Эксперименты проводились со смесью Ag-Xe на описанной в [7] внутриреакторной установке. В качестве источника заряженных частиц для предыонизации смеси использовались слои урана, которые наносились на наружные электроды. Генерация имела место в течение первого и второго полупериодов разрядного тока, т.е. на протяжении всего импульса накачки. Зависимости выходной энергии лазера с $\lambda = 1,73$ мкм от за-

данного напряжения на накопительных конденсаторах при разных потоках тепловых нейтронов $10^{14} \div 10^{13}$ н/(см²·с) (что соответствует по энерговыкладу ионизации электронным пучком с плотностью $\sim 1-0,1$ мА/см² соответственно) показаны на рис. 2. Как видно, при ионизации лазерной среды потоком нейтронов 3×10^{13} н/(см²·с) в области зарядного напряжения 20 кВ наблюдается насыщение энергии генерации. При ионизации потоком нейтронов 10^{14} н/(см²·с) и зарядных напряжениях ~ 20 кВ насыщения генерации не достигается, что указывает на возможность улучшения характеристик лазера с дальнейшим увеличением зарядного напряжения. Максимальное полученное значение энерговыклада при потоке нейтронов 10^{14} н/(см²·с) и зарядном напряжении 20 кВ составляет $\sim 0,1$ Дж/л при КПД $\sim 0,1 \div 0,2$ % от вложенной в газ энергии.

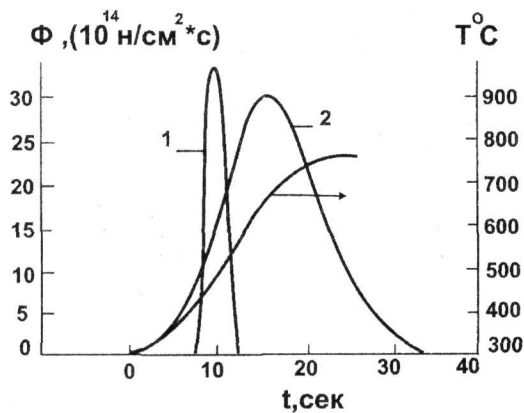


Рис. 1. Осциллограмма сигнала генерации (1) и импульса нейтронов (2). Температура газовой среды (правая шкала)

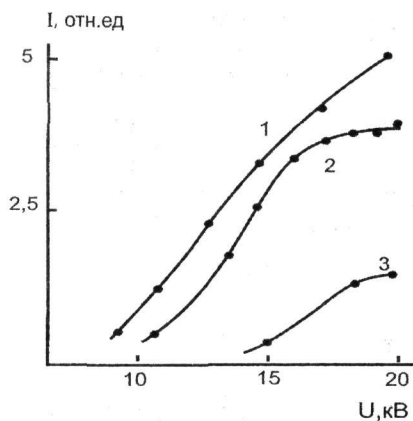


Рис. 2. Зависимость интенсивности импульса генерации от напряжения на накопительных конденсаторах. Смесь Ag : Xe = 100 : 1. 1 - $\Phi_t = 1 \times 10^{14}$ н/(см²·с); 2 - $\Phi_t = 3 \times 10^{13}$ н/(см²·с); 3 - $\Phi_t = 1,5 \times 10^{13}$ н/(см²·с)

Полученные выходные характеристики лазера не являются предельными. Экстраполяция достигнутых значений в сторону повышения потока тепловых нейтронов ($\Phi_T > 1 \times 10^{14}$ н/(см²·с)) по зависимости КПД и выходной энергии лазера с предыонизацией электронным пучком от плотности тока ($j = 0,013 \div 1,7$ А/см²) [6] дает следующие величины КПД и удельного энергопотребления при $\Phi_T \sim 10^{15} \div 10^{16}$ н/(см²·с) $\sim 1 \div 2\%$ и ~ 2 Дж/л соответственно.

5. Заключение. При типичных геометрических размерах лазерных трубок: диаметр 3 см, длина 60 см, при характерных для стационарных ядерных реакторов потоках тепловых нейтронов, можно извлечь из активной зоны ядерного реактора до 2 кВт непрерывного светового потока на длине волны $\lambda = 329$ нм, и, при необходимости, 120 Вт - на длине волны $\lambda = 508$ нм. Понятно, что при увеличении количества лазерных трубок в активной зоне ядерного реактора, пропорционально увеличивается интегральный извлекаемый световой поток излучения гетероядерных молекул AgXe⁺. Причем не когерентное излучение можно извлекать из той же лазерной трубки, из которой получается так же и лазерное излучение при достижении потока тепловых нейтронов своего порогового значения. В качестве резонатора можно использовать диэлектрические зеркала с отражением в ближнем ИК диапазоне в районе длин волн генерации лазера с ядерной накачкой. Лазерная трубка может быть так быть снабжена парой электродов для получения генерации с комбинированной ядерной накачкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батырбеков Э.Г. К вопросу преобразования энергии ядерных реакций в лазерное излучения // Вестник НЯЦ РК. 2008. №3. С. 1-28.
2. Бойченко А.М., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А., Яковленко С.И., Широкополосные континуумы в инертных га-

зах и их смесях с галогенами // Квантовая электроника. 1993. Т. 20, вып. 1. С. 7-30.

3. Батырбеков Э.Г., Батырбеков Г.А., Тлеужанов А.Б., Хасенов М.У. Молекулярная полоса в спектре излучения смеси Ag-Xe // Оптика и спектроскопия. 62, 1, 212-214, 1987.

4. Батырбеков Э.Г., Полетаев Е.Д., Сузуки Е., Майли Дж. Ag-Xe лазер с длиной волны 1.73 мкм накачиваемый продуктами ядерной реакции В10(n,α)Li7 // Труды Международной конференции «Физика ядерно-возбуждаемой плазмы и лазеров с ядерной накачкой». Арзамас-16. Т. 1, 329-333, 1994.

5. Магда Э.П. Анализ результатов экспериментальных исследований ЛЯН, выполненных во ВНИИТФ // Труды конференции ЛЯН-92, г. Обнинск, 1992. Т. 1. С. 65.

6. Басов Н.Г., Баранов В.В., Данилычев В.А. и др. О возможности создания импульсно-периодического электроионизационного лазера большого объема на ИК переходах атома Хе с удельной мощностью 0.5-1 Вт/см³ // Квантовая электроника. 1986. Т. 13, № 8. С. 1543-1544.

7. Батырбеков Г.А., Батырбеков Э.Г., Данилычев В.А., Хасенов М.У. Исследование лазеров на атомарных переходах инертных газов в поле излучения стационарного ядерного реактора и с радиоизотопной предыонизацией // Тезисы докладов I-ой конференции «Физика ядерно-возбуждаемой плазмы и лазеры с ядерной накачкой», г. Обнинск, 1992. 157 с.

Резюме

Тикелей әдіспен сонымен бірге комбинациялы әдіспен ядролық толтырулар ядролы-оптикалық түрлендіргіштерді бір уақытта пайдалану концепциясы қарастырылады. Лазерлі сәулеге қосымша ядролы-қозғыш көздердің спонтанды сәулеленуін пайдалануы ұсынылды. Ядролық қуаттың оптикалық ядролы-қозғыш Ag-Xe белсенді ортасын пайдаланып когерентті және когерентсіз сәулелерге түрлену жетістіктері көрсетілген.

Summary

The concept of simultaneous use both direct and combined nuclear pumping of nuclear-optical transformers is considered. Nuclear-excited sources of spontaneous irradiation are proposed to be used in addition to laser irradiation. Results of transformation of a nuclear energy to energy of optical coherent and non-coherent irradiation are described at application of nuclear-excited Ag-Xe active media.

УДК: 539.196; 535.37

Поступила 26.08.08г.

