

03;04

Формирование газодисперсной среды для разработки импульсных химических лазеров на фотонно-разветвленной цепной реакции

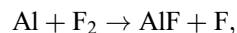
© В.И. Игошин, В.С. Казакевич, А.Ю. Куров,
А.Л. Петров, В.Д. Шляк

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Самарский филиал
E-mail: laser@fian.smr.ru

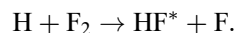
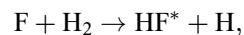
Поступило в Редакцию 11 марта 2001 г.

Для разработки лазеров на фотонно-разветвленной цепной реакции впервые получена газодисперсная среда (частицы алюминия в аргоне) с необходимыми параметрами: размер частиц Al $0.1 \div 0.15 \mu\text{m}$, концентрация частиц Al более 10^8 cm^{-3} , давление аргона $0.3 \div 1.5 \text{ at}$, время жизни среды более 10 min.

Ранее теоретически [1] была показана возможность создания чисто химического импульсного $\text{H}_2\text{-F}_2$ -лазера на фотонно-разветвленной цепной реакции (ФРЦР), в активную среду которого введены мелкодисперсные пассивированные частицы алюминия. При действии инфракрасного лазерного излучения на такую активную среду происходит испарение частиц. Возникающие атомы алюминия взаимодействуют с F_2 с образованием активных центров — свободных атомов F.



после чего начинается цепная реакция, приводящая к выгоранию реагентов и образованию возбужденных молекул фтористого водорода:



Часть лазерных фотонов участвует в разогреве частиц, способствуя зарождению активных центров. Если выход фотонов превышает их расход на инициирование и поддержание реакции, то процесс в целом

становится самоподдерживающимся. Реакция такого типа может рассматриваться как реакция с фотонным механизмом разветвления, на основе которой можно создавать мощные лазерные системы.

К началу экспериментальной реализации этого типа лазеров стоял вопрос: не могут ли темновые реакции частиц алюминия в смеси $H_2(D_2):F_2$ приводить к уменьшению энергозапаса химически активной среды и ее самопроизвольному сгоранию? В работе [2] была впервые экспериментально подтверждена возможность создания газодисперсных активных сред для импульсных химических H_2-F_2 и D_2-F_2 лазеров с давлением смеси ~ 1 ат. Было показано, что добавление частиц Al (распыление готового порошка Al, полученного левитационным методом) с размерами $\sim 0.5 \mu m$ и концентрацией $\sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ в смеси состава $H_2(D_2) : F_2 : O_2 : He = 50 : 114 : 11 : 635$ ($P = 1$ ат) не увеличивает скорости темновой наработки молекул HF, и такие смеси обладают долговременной ($\sim 15 \text{ min}$) стабильностью. Нагрев и испарение частиц Al в среде D_2-F_2 лазера под действием излучения H_2-F_2 лазера-генератора сопровождался сгоранием лазерной смеси за время $\sim 3 \mu s$. Отсутствие в проведенных экспериментах усиления и генерации объяснялось недостаточной концентрацией алюминиевых частиц, низкой степенью однородности в распределении частиц по объему и наличием в среде крупных ($d > 1 \mu m$) фрагментов вследствие коагуляции частиц. Авторами [2] были сделаны выводы, что для реализации схемы химического лазера с фотонным разветвлением цепных реакций в химически активной газодисперсной среде необходимы:

- однородность газодисперсной среды (ГДС);
- высокая концентрация дисперсной фазы ($10^8 \div 10^9 \text{ cm}^{-3}$);
- субмикронный средний размер частиц ($0.1 \div 0.05 \mu m$);
- время жизни ГДС $2 \div 15 \text{ min}$.

Алюминиевые порошки, получаемые существующими на данный момент способами, далеко не всегда могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к дисперсной фазе активной среды химического лазера на ФРЦР в отношении распределения частиц по размерам и загрязнения посторонними примесями.

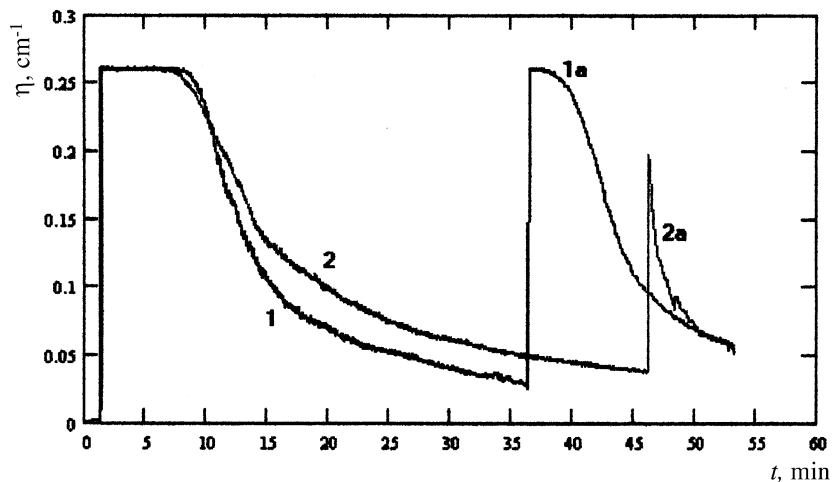
В настоящей работе ГДС получали воздействием импульса тока на алюминиевую проволочку или фольгу в атмосфере аргона. При выборе оптимального способа формирования ГДС в процессе экспериментов варьировали длительность ($5 \div 30 \mu s$) и форму импульсов тока, вид алюминиевого проводника — проволочка ($\varnothing 0.2 \div 0.4 \text{ mm}$) и фольга (тол-

шина $10 \div 20 \mu\text{m}$) длиной $100 \div 200 \text{ mm}$, емкость и напряжение заряда батареи конденсаторов, давление аргона. При этом плотность тока была более 10^6 A/cm^2 , а удельный энерговыход $0.2 \div 1.5 W_c$ (W_c — энергия сублимации взрывающегося проводника). При пропускании излучения He–Ne лазера через ГДС регистрировали ослабление и рассеяние излучения, что позволяло делать выводы об однородности ГДС и оценивать концентрацию частиц Al. Процесс измерения сигналов фотоприемников осуществлялся с помощью платы АЦП L-1250 и персонального компьютера. Для определения размеров частиц применялась дифракционная электронная микроскопия проб порошка после оседания аэрозоля в течение $10 \div 20 \text{ h}$ на стеклянные подложки. Проба представляла собой ажурную структуру из частиц в виде трехмерной паутины высотой до $100 \mu\text{m}$, которая сохранялась месяцами; крупные частицы были расположены непосредственно на поверхности подложки. Проводилась также электронография частиц. Расшифровка электронограмм показала, что частицы в основном состоят из чистого Al и пленка окисла, если и присутствует, то имеет толщину менее $0.01 \mu\text{m}$.

Исследования показали, что основными параметрами, определяющими характерный размер и концентрацию частиц Al, получающихся в результате взрыва проволоочки или фольги, являются форма импульса тока, напряжение на взрывающемся проводнике и энерговыход.

При взрыве проволоочки имело место нарушение проводимости и пауза тока. Это характерно для модели взрыва проволоочек [3,4], согласно которой проволоочка при пропускании импульсных токов $\sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ сначала расширяется (нарушение проводимости, пауза тока), а затем происходит диспергирование металла на частицы с характерным размером $\sim 0.1 \mu\text{m}$. Все это имеет место уже при энерговыходах $\sim 0.5 W_c$ за времена $\sim 1 \div 5 \mu\text{s}$, т.е. процесс испарения и конденсации при образовании аэрозоля не определяющий.

Газодисперсные среды, наиболее подходящие для создания химических лазеров на ФРЦР, были получены при взрывах проволоочки $\varnothing 0.2 \text{ mm}$ и фольги сечением $20 \mu\text{m} \times 2 \text{ mm}$ и длиной 200 mm . Диаметр кварцевой трубки, в которой взрывали проводник, был $\sim 16 \text{ mm}$; трубка была расположена горизонтально. Энерговыход составлял величину $\sim 0.6 W_c$ при напряжении на батарее конденсаторов 19 kV . Исследования проб алюминиевых частиц на электронном микроскопе показали, что и для проволоочки, и для фольги характерный размер частиц $\sim 0.1 \mu\text{m}$. Практически при всех исследованных режимах присутствовали крупные



Коэффициент ослабления ГДС излучения He-Ne лазера η : $U = 1 \text{ kV/cm}$, энерговыклад $\sim 0.6 W_c$: 1 — фольга; 2 — проволочка.

частицы $\sim 0.5 \div 1 \mu\text{m}$, но количество их по сравнению с мелкодисперсной фазой было незначительно.

На рисунке приведены зависимости от времени коэффициента ослабления излучения с $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ для этих режимов взрывов проволочки и фольги. Учитывая, что за время 3–5 минут все крупные частицы успевают осесть, оценка концентрации частиц на 10-й минуте давала величину $\sim 10^9 \text{ cm}^{-3}$. В эксперименте наблюдалось просветление среды: за 10 минут (с 10 по 20 минуту) концентрация падала менее чем в 5 раз. Одной из причин замедления процессов коагуляции в ГДС может быть образование аргоновой "шубы" [5] на поверхности частиц. Повторный разряд конденсаторов, заряженных до напряжения 5–7 kV, приводил (см. рисунок, кривые 1a и 2a) к полному или частичному в зависимости от энерговыклада восстановлению состава ГДС в трубке.

Эксперименты показали, что увеличение энерговыклада до величины более W_c за счет увеличения емкости конденсаторов приводило к тому, что значительная часть запасенной энергии выделялась в разряде в момент диспергирования проводника. Это приводило к заряду частиц и образованию из них устойчивой "паутины" за время менее минуты.

Уменьшение напряжения при постоянном энергокладе приводило к увеличению размеров частиц ($\sim 0.2-0.3 \mu\text{m}$) и росту концентрации крупных ($0.5 \div 1 \mu\text{m}$) частиц. Уменьшение давления газа до 0.3 ат приводило к увеличению скорости оседания частиц, но практически не сказывалось на характерном размере и концентрации частиц.

Интересный эффект удалось наблюдать в результате пропускания импульса тока через алюминиевую фольгу в тех областях, где фольга была уложена в два слоя. На фольге формировалась сеточка из сквозных отверстий $\sim \varnothing 50 \mu\text{m}$. Края отверстий были оплавлены. Причем количество отверстий со стороны катода было в 2–3 раза больше, чем со стороны анода. Напряжение от батареи конденсаторов прикладывалось к концам кварцевой трубки, в которую фольга была вложена, плотность тока составляла $5 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$ и выше. Все эксперименты проводились в атмосфере аргона при давлении $0.25 \div 1.5 \text{ ат}$. Данное явление наблюдалось при характерной длительности полупериода колебаний импульса тока $\sim 1 \div 5 \text{ ms}$. В литературе описания этого эффекта не встречается.

Таким образом, проведенные эксперименты показали возможность получения газодисперсных сред в диапазоне давлений аргона $0.3 \div 1.5 \text{ ат}$ с характерным размером частиц $\sim 0.1-0.15 \mu\text{m}$ и концентрацией более 10^8 cm^{-3} . Можно предположить, что эффект образования аргоновой "шубы" существенно облегчит проведение экспериментов при разработке лазера на ФРЦР за счет замедления процессов коагуляции.

Список литературы

- [1] Игошин В.И., Пичугин С.Ю. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 3. С. 437–441.
- [2] Азаров М.А., Дроздов В.А., Игошин В.И. и др. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 11. С. 983–986.
- [3] Лебедев С.В., Савватимский А.И. // Успехи физических наук. 1984. Т. 144. В. 2. С. 215–250.
- [4] Ильин А.П., Громов А.А. Окисление сверхтонких порошков алюминия и бора. Томск, 1999. 131 с.
- [5] Ильин А.П. // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 4. С. 93–97.