

ЭФФЕКТИВНЫЙ ЛАЗЕР НА ПАРАХ БРОМИСТОЙ МЕДИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВОДОРОДА

Д.Н. Астаджов, Н.К. Вучков, А.А. Исаев, Г.Г. Петраш,
И.В. Пономарев, Н.В. Саботинов

В лазере на парах бромистой меди получена средняя мощность генерации 18 Вт с практической эффективностью 1% при добавках в буферный газ (неон) небольших количеств водорода (0,3 торр). Проведено исследование электрических характеристик импульсов возбуждения. Предложен механизм влияния водорода на характеристики генерации.

Лазеры на парах галогенидов меди привлекают внимание из-за сравнимых с лазером на парах меди характеристик генерации /1, 2/ и более простых конструктивных решений газоразрядных трубок. В настоящее время разработаны конструкции отпаянных трубок этих лазеров со сроком службы 600 часов и более /3/. Недавно было обнаружено, что добавление небольших количеств водорода в активную среду лазера на парах бромистой меди приводит к заметному увеличению эффективности и средней мощности генерации /4/. Механизм влияния водорода на генерацию не выяснен.

В данной работе исследовалось влияние добавок водорода на характеристики импульса возбуждения (пиковую мощность, напряжение на плазме, длительность импульса возбуждения), которые могут играть определяющую роль в увеличении выходных характеристик лазера, мощности и КПД /5/.

Исследовался лазер, аналогичный описанному в работе /4/. Диаметр разрядной трубки из кварца — 60 мм; размер активной зоны ограничивался диафрагмами диаметром 20 мм; длина активной зоны — 50 см. Активная среда возбуждалась от генератора импульсов на основе тиратрона ТГИ1-1000/25; частота следования импульсов до 15,6 кГц; рабочая емкость 1 нФ, обостряющая — 0,75 нФ.

Бромид меди помещался в трех отрезках, расположенных равномерно по длине трубки, которые нагревались внешними печками. Водород в разряд добавлялся за счет разогрева генератора водорода от тиратрона ТГИ1-400/16. Давление буферного газа неона — 15 торр.

Добавление водорода приводило, как и в /4/, к возрастанию средней мощности и КПД генерации. При температуре отрезков $T = 485^\circ\text{C}$ и давлении водорода около 0,3 торр, средняя мощность генерации достигала 18 Вт. Практический КПД (отношение мощности генерации к мощности, отбираемой от выпрямителя) составил 1%.

На рис. 1 приведены электрические характеристики разряда: импульсы тока, напряжения, а также рассчитанные зависимости напряжения на активном сопротивлении разрядного контура, мощности возбуждения и активного сопротивления плазмы. Разогрев отрезков трубки с бромистой медью и появление ее паров в разряде с чистым неоном приводило к возрастанию активного сопротивления плазмы разряда, что выражалось в уменьшении амплитуды импульса тока разряда (ср. рис. 1 а и в). Добавление водорода в разряд в неоне без бромистой меди также приводило к существенному возрастанию активного сопротивления разряда. Это может быть связано с большими сечениями упругого столкновения электронов с водородом. В результате столкновений уменьшается подвижность электронов и ускоряется рекомбинация плазмы в межимпульсном интервале времени.

Однако добавление паров бромистой меди в смесь неона и водорода приводило к обратному эффекту — сопротивление разряда уменьшалось (ср. рис. 1 б и г), хотя и оставалось выше, чем в смеси неона и бромистая медь (рис. 1в). Амплитуда тока при добавлении паров бромистой меди в смесь неона и водорода резко возрастала, а фронт импульса тока сокращался. Расчет из осциллограмм импульсов тока и напряжения мощности накачки показал, что пиковая мощность накачки при добавках водорода уменьшается незначительно, а напряжение на плазме — возрастает. Временная задержка между началом генерации и максимумом импульса мощности возбуждения сокращается при добавлении водорода.

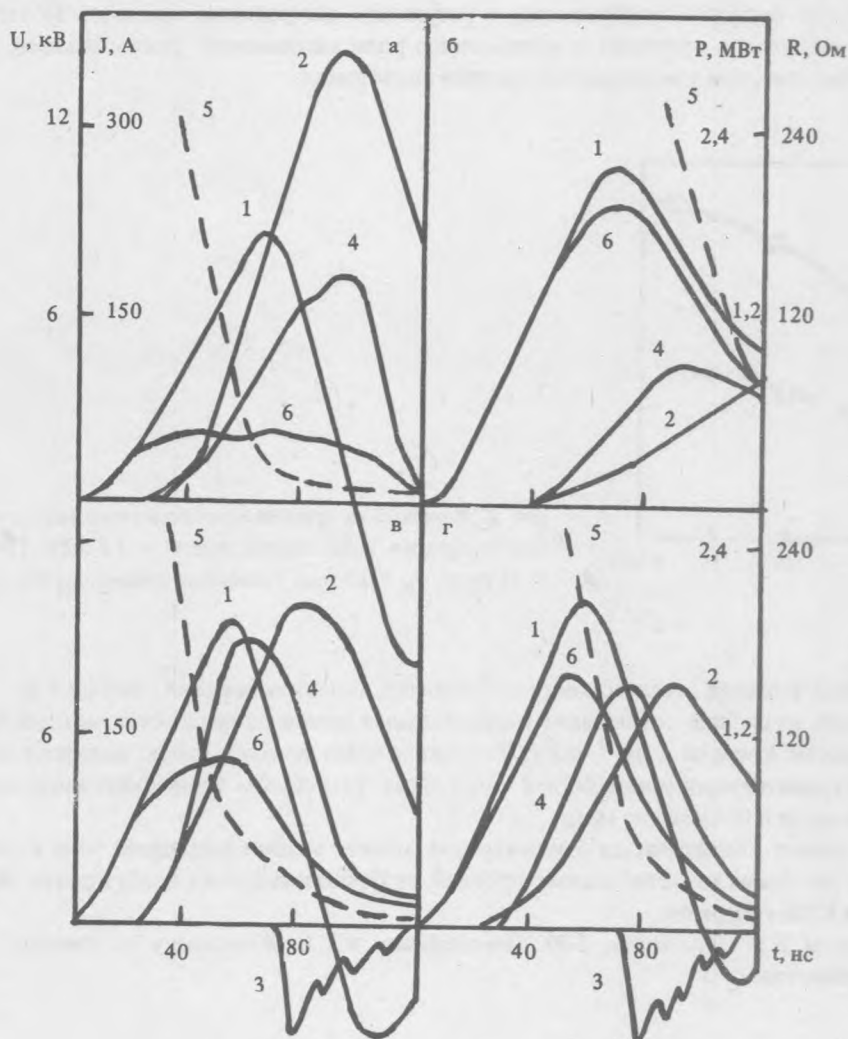


Рис. 1. Электрические характеристики разряда. Осциллограммы импульсов напряжения (1), тока (2), импульса генерации (3) (в отн. ед), а также расчетные зависимости мощности возбуждения (4), сопротивления разряда (5), напряжения на плазме (6): а – давление буферного газа неона $p_{\text{Ne}} = 15$ торр, мощность, отбираемая от выпрямителя $W = 1,4$ кВт; б – $p_{\text{Ne}} = 15$ торр, $p_{\text{H}} = 0,3$ торр, $W = 1,3$ кВт; в – $p_{\text{Ne}} = 15$ торр, $T = 485^\circ\text{C}$, $W = 1,4$ кВт, мощность генерации $P_g = 7,8$ Вт; г – $p_{\text{Ne}} = 15$ торр, $p_{\text{H}} = 0,3$ торр, $T = 485^\circ\text{C}$, $W = 1,3$ кВт, $P_g = 13$ Вт.

Эти результаты позволяют утверждать, что добавка водорода в активную среду лазера на парах бромистой меди не приводит к увеличению пиковой мощности возбуждения. Следовательно, улучшение характеристик генерации нельзя связать с улучшением характеристик импульса возбуждения.

Для выяснения роли водорода необходимы дальнейшие эксперименты, однако представляется возможным указать следующий механизм влияния водорода. В лазерах на галогенидах меди, работающих в режиме регулярных импульсов, наблюдается резкая зависимость мощности генерации от частоты следования импульсов возбуждения в диапазоне 12-16 кГц (рис. 2). Это может быть связано с процессами химической рекомбинации, которые определяют концентрацию атомов меди в разрядной зоне. В резуль-

тате химической рекомбинации обедняется основное состояние атома меди в плазме разряда, кроме того, присутствие в разряде молекул бромистой меди может приводить к паразитному заселению метастабильных уровней на фронте импульса возбуждения в результате диссоциации молекул. Поэтому увеличение частоты следования импульсов приводит к уменьшению роли химической рекомбинации, и мощность генерации возрастает быстрее, чем увеличивается частота повторения.

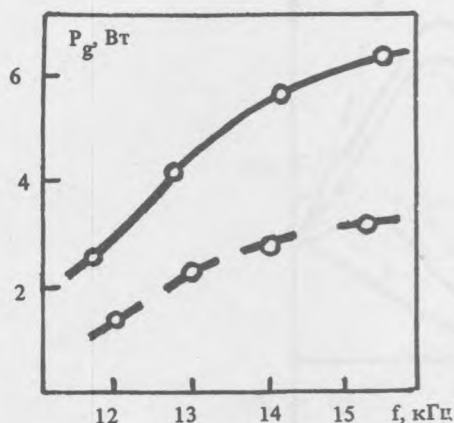


Рис. 2. Зависимость средней мощности генерации от частоты следования импульсов возбуждения: при $W = 1,2$ кВт, $T = 485$ °С, $p_{Ne} = 15$ торр; $p_H = 0,3$ торр (сплошная линия), $p_H = 0$ (пунктир).

Одним из основных каналов химической рекомбинации является реакция типа $Cu + Br^- \rightarrow CuBr + e$ [6]. При наличии водорода возможно связывание отрицательных ионов брома за счет реакции $H + Br^- \rightarrow HBr + e$, константа скорости которой (10^{-9} см³/с [7]) достаточно высока, чтобы появился конкурирующий канал связывания отрицательных ионов брома водородом. Тем самым происходит замедление реакции рекомбинации атомов меди в бромистую медь.

Таким образом, может увеличиваться концентрация атомов меди в разрядной зоне и уменьшаться возможное паразитное заселение метастабильных уровней на фронте импульса возбуждения. Все это приводит к росту мощности и КПД генерации.

Авторы благодарны К.И. Земскову, Г.Ю. Леммерману и Е.Е. Журавлеву за помощь, оказанную при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казарян М.А., Петраш Г.Г., Трофимов А.Н. Квантовая электроника, **7**, 583 (1980).
2. Astadjov D.N., Sabotinov N.V., Vuchkov N.K. II Int. Conf. Trends in Quant. Electronics, Bucharest, 1985, p. 73.
3. Astadjov D.N. et al. Optics Commun., **51**, 85 (1984).
4. Astadjov D.N., Sabotinov N.V., Vuchkov N.K. Optics Commun., **56**, 279 (1985).
5. Петраш Г.Г. УФН, **105**, вып. 4, 645 (1971).
6. Kushner M.J., Culick F.E.C. J. Appl. Phys., **51**, 3020 (1980).
7. Смирнов Б.И. Отрицательные ионы. М., Атомиздат, 1962.

Поступила в редакцию 18 июля 1986 г.