

ЛАЗЕР НА САМООГРАНИЧЕННОМ ПЕРЕХОДЕ ИОНА РТУТИ

С.В. Маркова, Ю.П. Павленко, Г.Г. Петраш

Исследована импульсная генерация на линии с длиной волны 398,4 нм, соответствующей $r \rightarrow t$ переходу $6p\ ^2P_{3/2}^0 \rightarrow 6s\ ^2D_{5/2}$ в ионе ртути. В разряде с неоном получена средняя мощность излучения 150 мкВт при частоте повторения импульсов 185 Гц.

Импульсные лазеры на атомных самоограниченных переходах, например, лазер на парах меди, хорошо известны. Они обладают характеристиками, позволяющими с большим успехом применять их как в научных исследованиях, так и для решения ряда практических задач. Наиболее эффективные лазеры этого типа генерируют в видимой и инфракрасной областях спектра. Было бы весьма желательно получить генерацию такого типа в более коротковолновой области. Анализ, проведенный в [1], показал, что в однократно ионизованных атомах имеется большое число переходов с резонансного на метастабильный³ уровень, на которых можно ожидать получения генерации, в том числе в УФ и ВУФ областях спектра.

Процесс образования инверсии на самоограниченных переходах ионов существенно отличается от соответствующего процесса для атомов и изучен слабо. Цель настоящей работы — изучение генерации на переходе $6p\ ^2P_{3/2}^0 \rightarrow 6s\ ^2D_{5/2}$ иона ртути. Выбор объекта исследования определяется следующими соображениями.

1. Указанный переход аналогичен переходам в атомах меди и золота, на которых получена наиболее эффективная генерация. Нижний лазерный уровень в ионе ртути расположен значительно выше, чем в атомах меди и золота, что, в принципе, должно позволить вводить в активную среду значительно большую мощность без ее перегрева.

2. Рабочая температура для ртути намного ниже, чем для других металлов, что существенно облегчает конструирование разрядных трубок.

3. Малая доплеровская ширина и наличие четных изотопов позволяют рассчитывать на высокое усиление.

4. Длина волны генерации 398,4 нм представляет интерес для ряда применений, в частности, для накачки лазеров, перестраиваемых во всей видимой области спектра.

Генерация на указанной линии была обнаружена в работе /2/, в которой проведено отнесение ее к упомянутому выше переходу, однако подробных исследований проведено не было. В настоящей работе использовалась стеклянная разрядная трубка внутренним диаметром 3 мм и активной длиной 30 см с двумя отрезками, в которых помещалась ртуть. Плотность паров ртути регулировалась нагревом отрезков в специальных печах. Температура активной части трубки поддерживалась несколько выше температуры отрезков. Частота повторения импульсов возбуждения изменялась от 1 Гц до 2 кГц. При малых частотах повторения трубка нагревалась внешней печью, при частотах больше 80 Гц — работала в режиме саморазогрева. Использовались разные схемы возбуждения: обычная схема с разрядом накопительного конденсатора через тиратрон; система с импульсным кабельным трансформатором (коэффициент трансформации 3,5) и схема Блюмлайна. Применялся также метод возбуждения сдвоенными импульсами.

Генерация на линии 398,4 нм наблюдалась в интервале температур отрезков 80 — 105 °С. Оптимальная температура равна 95 °С, что соответствует давлению паров ртути около 0,2 торр и плотности атомов $\sim 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Несколько неожиданным оказался тот факт, что мощность генерации существенно зависела также и от температуры стенки трубки T_T . Наиболее интенсивная генерация наблюдалась при температуре стенки 120 — 160 °С, а при нагреве стенки до температуры выше 240 °С генерация пропадала. Эта особенность не позволяла увеличивать среднюю мощность, вводимую в разрядную трубку, выше определенного предела. При мгновенном увеличении вводимой мощности, например, при увеличении частоты повторения импульсов в

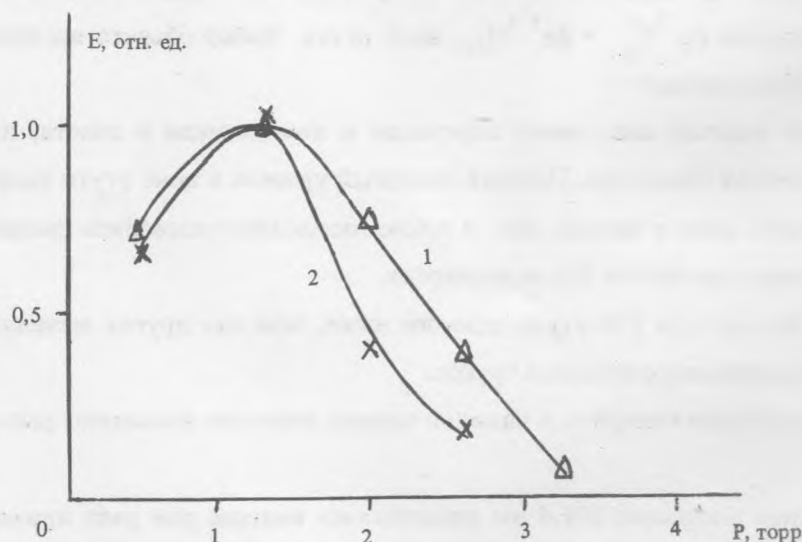


Рис. 1. Зависимость энергии импульса генерации от давления буферного газа: 1 — неон, $f = 185 \text{ Гц}$, температура трубки $T_T = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $U = 13,5 \text{ кВ}$; 2 — гелий, $f = 185 \text{ Гц}$, $T_T = 110 \text{ }^\circ\text{C}$, $U = 15,5 \text{ кВ}$.

несколько раз, энергия импульса генерации уменьшалась не сразу, а в течение 10—15 с.

Зависимость энергии импульса генерации от давления буферного газа показана на рис. 1. Максимум генерации достигается при сравнительно небольшом (около 1,3 торр) давлении как гелия, так и неона.

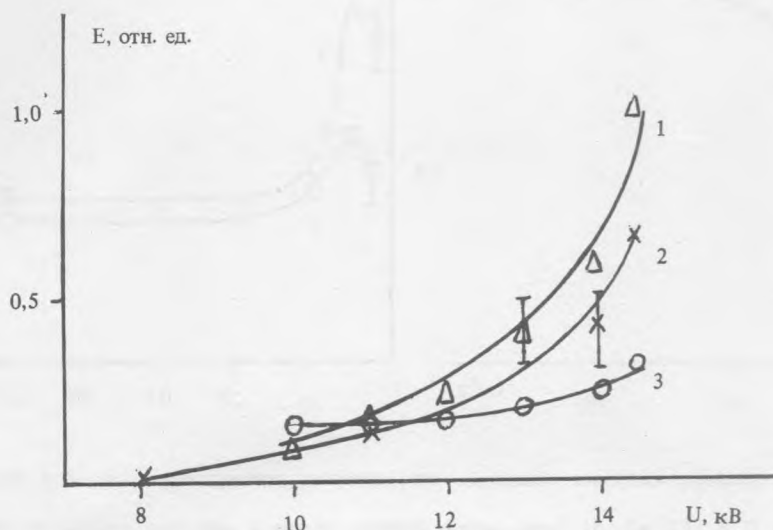


Рис. 2. Зависимость энергии импульса генерации от напряжения на рабочем конденсаторе; буферный газ — неон: 1 — $f = 88$ Гц, $T_T = 140$ °С; 2 — $f = 42$ Гц, $T_T = 140$ °С; 3 — $f = 185$ Гц, $T_T = 190$ °С.

Энергия импульса генерации резко росла с увеличением напряжения на рабочем конденсаторе U . На рис. 2 приведена эта зависимость для обычной схемы возбуждения. Для увеличения напряжения была использована схема возбуждения с кабельным трансформатором /3/, а также схема Блюмлайна /4/. Лучшие результаты получены со схемой Блюмлайна: заметно улучшились характеристики генерации с неоном, была также получена генерация с гелием, что при других способах возбуждения не наблюдалось. Мощность генерации с неоном и гелием была примерно одинаковой.

Зависимость энергии импульса генерации от частоты повторения приведена на рис. 3а. Максимальная частота, при которой наблюдалась генерация, была 2 кГц. Дальнейшее повышение частоты, видимо, было ограничено быстрым перегревом трубки.

Были проведены также измерения в режиме сдвоенных импульсов. На рис. 3б приведена зависимость энергии генерации во втором импульсе от времени задержки между импульсами. Видно, что при небольших задержках наличие импульса, предварительно ионизирующего газ, приводит к заметному увеличению энергии генерации.

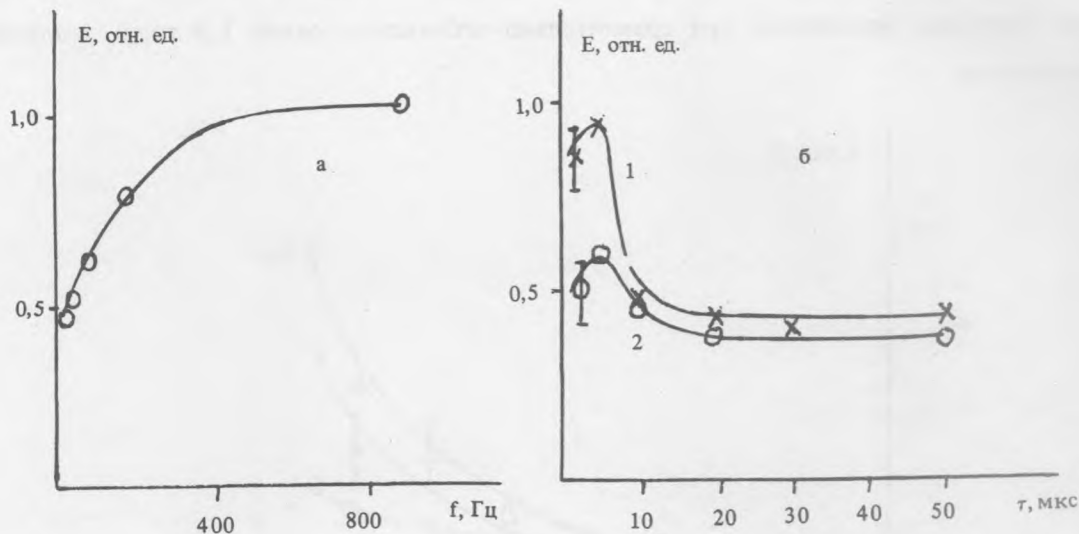


Рис. 3. а) Зависимость энергии импульса генерации от частоты повторения импульсов возбуждения при $P_{\text{Ne}} = 1,3$ торр, $T_{\text{T}} = 120$ °С, $U = 13,5$ кВ. б) Зависимость энергии второго импульса генерации от времени задержки в режиме двойных импульсов при давлении буферного газа 2,6 торр: 1 — неон, 2 — гелий.

Необходимо отметить еще одну особенность изучаемого лазера: в большинстве случаев пятно генерации имеет вид кольца, генерация происходит в пристеночных областях активной среды. С уменьшением давления буферного газа от 2,6 до 0,7 торр темное пятно в центре затягивается, и пятно генерации при малых давлениях буферного газа становится почти равномерным.

Максимальная средняя мощность генерации составляла 150 мкВт при температуре отрошков 95 °С и давлении неона 2,6 торр. Применялась схема Блюмлайна при напряжении на рабочей емкости 16 кВ и частоте повторения импульсов 185 Гц. При этом пятно генерации имело вид кольца с шириной порядка 0,5 мм. Удельная энергия генерации составляла ~ 1 мкДж/см³. Эта величина того же порядка, что и для многих других лазеров на парах металлов.

Данные эксперименты — первые подробные исследования лазера на $g \rightarrow m$ переходе иона ртути. Они позволили значительно улучшить характеристики генерации по сравнению с достигнутыми ранее [2], однако выявили и определенные трудности. Выяснилось, что для получения генерации необходимы жесткие условия возбуждения: высокое напряжение на разрядной трубке и крутые фронты тока. Имевшаяся в нашем распоряжении техника не позволила достичь максимума энергии генерации по напряжению. Кроме того, остаются неясными причины кольцевой формы пятна генерации и заметной зависимости ее мощности от температуры стенки трубки. Перегрев трубки не

позволил провести эксперименты при высокой частоте повторения импульсов. Однако ясно, что для ионных лазеров на $g \rightarrow m$ переходах желательно работать при таких частотах следования импульсов, при которых за время между импульсами не успевала бы произойти рекомбинация плазмы. В этом случае возбуждение уровней иона могло бы происходить главным образом с основного состояния иона, что должно привести к повышению мощности и эффективности генерации. Результаты экспериментов со сдвоенными импульсами косвенно подтверждают это предположение. Довольно высокое значение удельной энергии генерации позволяет надеяться на достижение значительных мощностей, особенно если удастся существенно увеличить частоту повторения импульсов и избавиться от кольцевого характера генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркова С.В., Петраш Г.Г. Препринт ФИАН №126, М., 1991.
2. Исаев А.А., Петраш Г.Г. ЖПС, 12, 118 (1970).
3. Насибов А.С. и др. ПТЭ, 4, 232 (1967).
4. Бохан П.А., Николаев В.Н., Соломонов В.И. Квантовая электроника, 2, 159 (1975).

Поступила в редакцию 25 ноября 1992 г.