

В.А. Герасимов, А.В. Павлинский

Особенности поведения перехода с $\lambda = 1101$ нм в лазере на парах тулия

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 5.12.2003 г.

Проведено исследование перехода с длиной волны 1101 нм атома тулия. Выявлено anomальное поведение импульса генерации при изменении температуры разрядного канала и напряжения накачки. Предложена зависимость характеристик импульса генерации от вида оптической функции возбуждения резонансных уровней.

Газоразрядный лазер на парах тулия, как известно [1], имеет более 15 лазерных переходов, генерирующих в области 600–2000 нм. При этом только переход с $\lambda = 589,9$ нм имеет в качестве верхнего лазерного резонансного уровня. Верхние лазерные уровни остальных переходов имеют четность, одинаковую с основным состоянием, и не могут эффективно возбуждаться в столкновениях невозбужденных атомов с электронами.

В этом случае в качестве механизма создания инверсии населенности предполагалась столкновительная передача возбуждения на верхний лазерный уровень от близкорасположенного резонансного уровня $\Delta E < kT_g$, где ΔE – дефект энергии между ними; k – постоянная Больцмана; T_g – газовая температура. При этом рассматривались столкновительные процессы резонансно-возбужденных атомов тулия с собственными атомами в основном состоянии и с атомами буферного газа гелия [2].

При исследовании энергетических характеристик лазерного излучения на различных переходах атома тулия (экспериментальная установка описана в [3]) было обнаружено anomальное поведение линии генерации с длиной волны $\lambda = 1101$ нм.

Во-первых, по мере разогрева газоразрядной трубки (ГРТ) генерация на указанном переходе появлялась при необычно низком напряжении на выпрямителе (~ 1 кВ) и низкой концентрации атомов тулия, когда генерации на других лазерных переходах еще не было.

Во-вторых, по мере увеличения напряжения на выпрямителе мощность генерации нарастает, проходит через максимум при напряжении около 2,5 кВ и затем уменьшается и исчезает при напряжении более 4 кВ. При дальнейшем нагреве ГРТ и увеличении концентрации атомов металла появляются линия 1101 нм, а также и остальные линии генерации.

Сказанное иллюстрирует рис. 1, на котором приведены осциллограммы импульса тока накачки и импульсов генерации при разном напряжении на выпрямителе.

На рис. 2 приведены зависимости энергии импульса генерации и времени задержки импульса генерации (по вершине) относительно начала импульса тока.

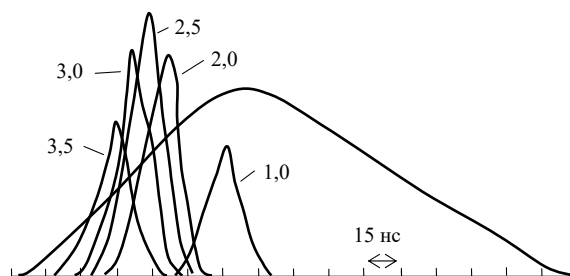


Рис. 1. Осциллограммы импульса тока накачки и импульсов генерации при разном напряжении на выпрямителе. Цифрами обозначена величина напряжения в киловольтах

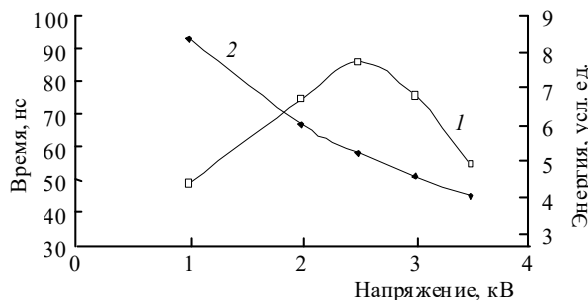


Рис. 2. Зависимость энергии (1) и времени задержки (2) импульсов генерации при разном напряжении на выпрямителе

Учитывая тот факт, что верхний лазерный уровень перехода 1101 нм с энергией $E = 25536 \text{ см}^{-1}$ лежит выше большинства верхних лазерных уровней переходов в атоме тулия, указанное выше anomальное поведение линии 1101 нм (появление генерации при очень низком напряжении накачки) заставило усомниться в правильности идентификации данного перехода. В связи с этим была проведена проверка идентификации перехода следующим образом. Поскольку вблизи уровня с $E = 25536 \text{ см}^{-1}$ находится верхний лазерный уровень ($E = 25717 \text{ см}^{-1}$) самоограниченного перехода с $\lambda = 589,9$ нм, достоверность идентификации можно под-

твердить наличием взаимной модуляции линий с $\lambda = 1101$ и $589,9$ нм (рис. 3).

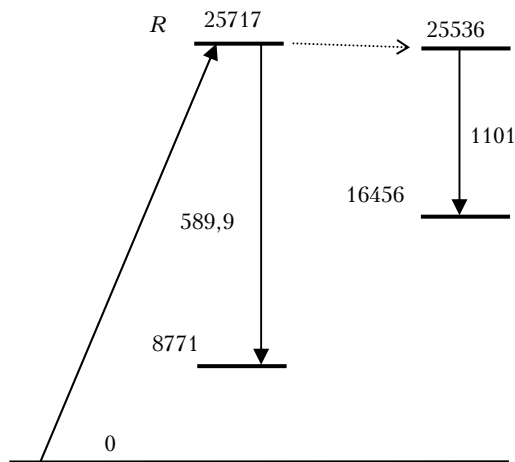


Рис. 3. Упрощенная схема уровней для переходов с $\lambda = 589,9$ и 1101 нм атома тулия

Дальнейшие исследования позволили обнаружить условия, при которых первой по мере разогрева ГРТ появляется видимая генерация линии $589,9$ нм (концентрация атомов тулия $N_{Tm} = 10^{14} \text{ см}^{-3}$, концентрация атомов гелия $N_{He} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$). При введении в резонатор светофильтра КС-13 (непрозрачного для $\lambda < 600$ нм) появлялась генерация на линии 1101 нм (наблюдаемая в электронно-оптическом преобразователе) и исчезала видимая генерация. При увеличении концентрации атомов гелия в два раза при прочих неизменных условиях первой по мере разогрева ГРТ появляется линия 1101 нм. Данный факт указывает на то, что верхний лазерный уровень перехода с $\lambda = 1101$ нм заселяется с резонансного, одновременно являющегося верхним лазерным уровнем для перехода с $\lambda = 589,9$ нм в столкновениях с атомами гелия.

Таким образом, проведенный эксперимент показал правильность идентификации перехода с $\lambda = 1101$ нм.

Анализ возможных причин аномального поведения исследуемой линии генерации привел к единственному с нашей точки зрения объяснению. Работа данного лазерного перехода при очень низком напряжении может объясняться тем, что верхний лазерный уровень заселяется от трех близкорасположенных резонансных уровней. Это следующие уровни: 1) с энергией 25656 см^{-1} , принадлежащий конфигурации $6s6p$ (3P_0) и имеющий дефект энергии $\Delta E = 120 \text{ см}^{-1}$ к верхнему для перехода 1101 нм лазерному уровню; 2) с энергией 25717 см^{-1} ($5d6s^2$) и $\Delta E = 181 \text{ см}^{-1}$; 3) 25745 см^{-1} ($5d6s^2$), $\Delta E = 209 \text{ см}^{-1}$. При этом силы осцилляторов для переходов с этих уровней, за исключением первого, больше, чем у нижележащих переходов.

Нами были измерены относительные интенсивности резонансных переходов с этих уровней, которые в наших условиях возбуждения составили $0,77$ для уровня 25717 см^{-1} и $0,34$ для уровня 25656 см^{-1} . Переход с резонансного уровня с энергией 25745 см^{-1} обнаружен не был.

Факт исчезновения генерации на переходе $\lambda = 1101$ нм при увеличении напряжения накачки, по нашему мнению, связан с оптической функцией возбуждения резонансных уровней. Как известно, в атоме тулия оптиче-

ские функции возбуждения подразделяются на 4 типа. Функция возбуждения типа *A* приведена на рис. 4 [4].

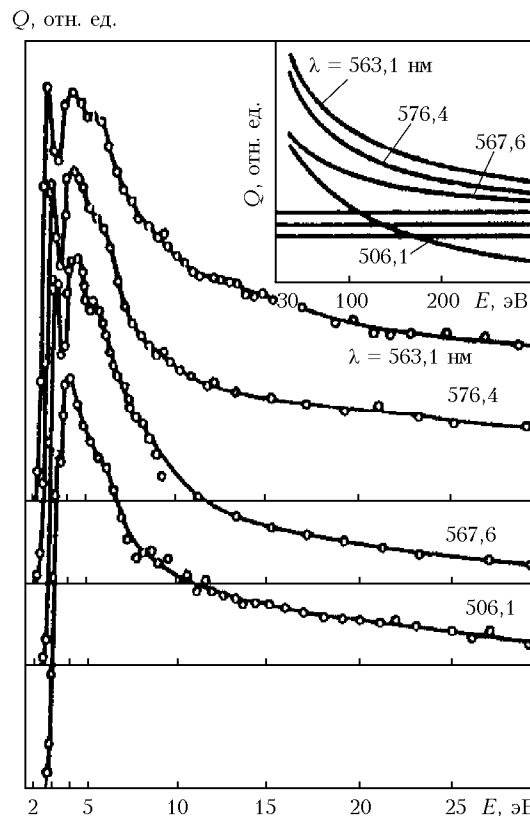


Рис. 4. Вид оптической функции возбуждения типа *A*

Для резонансных переходов с уровнями, лежащими вблизи верхнего лазерного уровня с $\lambda = 1101$ нм, функции возбуждения неизвестны. Но если предположить, что тип этих функций соответствует типу *A*, то поведение генерации с ростом напряжения можно объяснить следующим образом.

Как известно, в начале импульса тока при характерном для лазеров на парах металлов возбуждении энергия электронов составляет $5-10$ эВ. Функция возбуждения типа *A* имеет максимум до 5 эВ. При увеличении энергии электронов свыше 5 эВ сечение возбуждения начинает быстро спадать. Это приводит к исчезновению генерации с ростом напряжения накачки, а значит, энергии электронов.

Последующее появление генерации с ростом концентрации атомов тулия также объяснимо.

Скорость заселения верхнего лазерного уровня записывается как

$$V_u = N_{He} N_i(R_i) \langle \sigma_i(R_i, U_i) v \rangle = N_{He} N_0 \langle \sigma_i(0, R_i) v_e \rangle n_e \langle \sigma_i(R_i, U_i) v \rangle,$$

где v , v_e – скорости налетающих частиц и электронов; N – концентрация частиц; σ_i – сечение соответствующего процесса; R и U – резонансный и верхний лазерный уровни.

Из уравнения видно, что уменьшение сечений возбуждения может быть скомпенсировано увеличением концентрации атомов тулия, что и наблюдается в эксперименте.

1. Герасимов В.А., Юнжаков Б.П. Исследование лазера на парах тулия // Квант. электрон. 1989. Т. 16. № 12. С. 2386–2393.
2. Герасимов В.А., Павлинский А.В. О механизме формирования инверсии населенности в импульсных лазерах на парах редкоземельных металлов // Оптика. атмосфер. и океана. 2003. Т. 16. № 4. С. 383–384.
3. Герасимов В.А., Старкова Л.Н. Дискретно-перестраиваемый импульсный лазер на парах тулия // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. Вып. 2. С. 51–55.
4. Шимон Л.Л., Гарга И.И., Качанов В.Н., Курта И.В. Экспериментальное излучение возбуждения атомов тулия электронным ударом // Оптика и спектроскопия. 1983. Т. 55. Вып. 1. С. 22–29.

V.A. Gerasimov, A.V. Pavlinskii. Peculiarities in behavior of $\lambda = 1101$ nm transition in a thulium laser.

The thulium atomic transition with the 1101 nm wavelength is studied. The abnormal behavior of a lasing pulse when changing the tube temperature and pump voltage is found. Lasing pulse properties are suggested to depend on the form of optical excitation of resonance levels.