

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 — 1973

УДК 621.378.33

Г. В. АБРОСИМОВ, Н. Г. АНДРЕЕВ, А. И. ОДИНЦОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО СВЕРХИЗЛУЧЕНИЯ ПАРОВ ТАЛЛИЯ

Экспериментально изучена зависимость мощности импульсного сверхизлучения линии 5350 Å лазера на парах таллия от параметров разряда и определены оптимальные условия возбуждения сверхизлучения. Наблюдался режим однонаправленного выхода сверхизлучения. С помощью интерферометра Фабри—Перо найдено, что линия состоит из трех компонентов, обусловленных изотопическим и сверхтонким расщеплением. Каждый из компонентов обнаруживает специфическую структуру, характерную для лазеров данного типа. Приводится обсуждение полученных результатов.

О наблюдении сверхизлучения на линии T11 5350 Å (перехода  $7^2S_{1/2} - 6^2P_{3/2}$ ) при возбуждении паров таллия электрическими импульсами с крутым передним фронтом сообщалось в [1]. В настоящей работе более подробно исследуются характеристики генерации импульсного лазера на парах таллия.

В экспериментах использовалась разрядная трубка из кварца с цилиндрическими алюминиевыми электродами, которые вклеивались термостойким клеем К-400. Внутренний диаметр трубки равнялся 2 мм, длина нагреваемой части 23 см. Посередине трубки был впаян отросток, в котором помещался металлический таллий. На концах трубка имела кварцевые брюстеровские окна. Нагреватель представлял собой кварцевую трубку диаметром 5 см, на которую была намотана спираль из нихрома. Трубка со спиралью помещалась в теплоизолирующий асбестовый кожух. Температура полости измерялась термпарой хромель-алюмель с точностью  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Электрические возбуждающие импульсы получались путем разряда батареи безындуктивных конденсаторов через разрядник на первичную обмотку повышающего импульсного трансформатора. Использовался разрядник при атмосферном давлении. Схема запуска разрядника была собрана на тиратроне ТГИ-1—400/16. Амплитуда напряжения в импульсе достигала 60 кВ при длительности переднего фронта около 20 нсек.

Регистрация импульсов сверхизлучательной генерации в линии 5350 Å производилась при помощи коаксиального фотоэлемента ФЭК-15, сигнал с которого подавался на осциллограф И-2—7. Пиковая мощность (в относительных единицах) определялась по амплитудам импульсов на экране осциллографа. Перед фотоэлементом помещались ослабляющие нейтральные светофильтры.

На рис. 1 приведена осциллограмма импульса сверхизлучения. Длительность импульса на полувысоте 2 нсек, а по основанию 4 нсек. С учетом времени разрешения регистрирующей аппаратуры ( $\sim 1$  нсек) истинная длительность импульса, по-видимому, несколько меньше.

Исследовались зависимости пиковой мощности генерации от температуры кюветы, от давления и рода буферного газа и от величины напряжения разрядного импульса. Было установлено, что выход сверхизлучения неодинаков с обоих концов трубки и при определенных условиях может наблюдаться полностью однонаправленная генерация. Излучение в этом

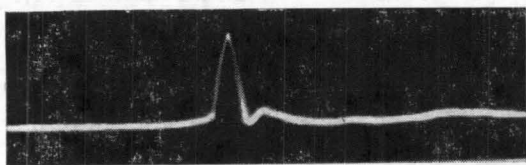


Рис. 1. Осциллограмма импульса сверхизлучения линии 5350 А ТII

случае идет от катода к аноду. При перемене полярности электродов направленность излучения менялась на противоположную. Симметричный выход наблюдался лишь при малой плотности атомов таллия, когда температура трубки не превышала  $750^\circ\text{C}$ , что соответствует давлению паров таллия 0,5 мм рт. ст. [2]. При повышении температуры интенсивность излучения со стороны катода росла значительно медленнее, чем со стороны анода. Затем ее рост прекращался и она начинала убывать и обращалась в нуль при температуре  $t_{\text{онт}}$ , при которой интенсивность со стороны анода достигала максимума. Дальнейшее повышение температуры приводило к падению мощности также и со стороны анода, и при  $t = 850^\circ\text{C}$  ( $p_{\text{Тl}} \approx 7$  мм рт. ст.) сверхизлучение прекращалось. При температурах, при которых имеет место симметричный выход излучения, установка зеркала с любого из концов трубки приводила к заметному возрастанию интенсивности у другого ее конца. При температурах  $t > t_{\text{онт}}$  однонаправленное излучение со стороны анода, отраженное зеркалом и прошедшее вторично через активную среду, сильно ослаблялось. Наблюдаемая однозначная связь направления преимущественного выхода излучения с полярностью электродов позволяет предположить, что в данном явлении важную роль играет процесс формирования зоны возбуждения в начальной стадии разряда. По-видимому, инверсия достигается у катода на более ранних стадиях разряда, чем у анода, что способствует образованию пучка излучения, направленного в сторону анода. Дальнейшие результаты будут относиться к выходной мощности сверхизлучения без зеркал со стороны анода.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости интенсивности излучения как функции температуры при использовании в качестве буферного газа неона. Из приведенных данных видно, что мощность излучения имеет довольно острый максимум в области температур от  $760$  до  $800^\circ\text{C}$ , причем оптимальная рабочая температура лишь в слабой степени зависит от давления буферного газа. Согласно [2], указанный интервал температур соответствует давлению насыщающих паров таллия 0,7—1,5 мм рт. ст. Спад интенсивности при  $t > t_{\text{онт}}$ , по-видимому, связан с понижением электронной температуры, которое должно иметь место с уменьшением  $E/p$  разряда, и с соответствующим уменьшением скорости накачки верхнего лазерного уровня. Отметим, что в области температур  $800$ — $900^\circ\text{C}$  становится заметной тепловая заселенность нижнего лазерного уровня  $6^2P_{3/2}$ , что также может приводить к уменьшению инверсии среды. На рис. 3 изображены зависимости мощности излучения от давления буферного газа (неона). Кривые обнаруживают

четко выраженный максимум мощности в области давлений  $p_{\text{опт}} \sim 2 \text{ мм рт. ст.}$  Уменьшение мощности при  $p > p_{\text{опт}}$  следует связать с понижением электронной температуры. Спад интенсивности при  $p < p_{\text{опт}}$  можно объяснить затруднением пробоя газа в приэлектродных частях трубки, где пары таллия отсутствуют. Зависимости, аналогичные приведенным на рис. 2 и 3, имеют место и при замене неона гелием, однако мощность генерации с гелием меньше, чем с неоном.

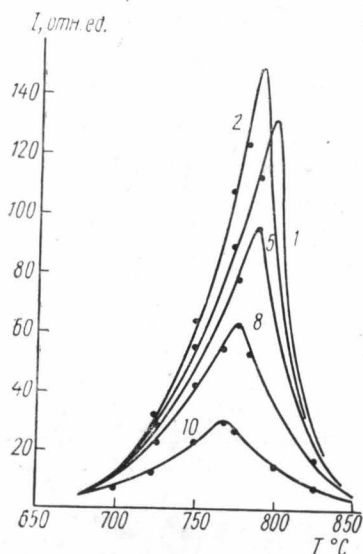


Рис. 2. Зависимость интенсивности сверхизлучения линии 5350 Å таллия от температуры. Цифры у кривых — давления буферного газа (неона) в мм рт. ст.

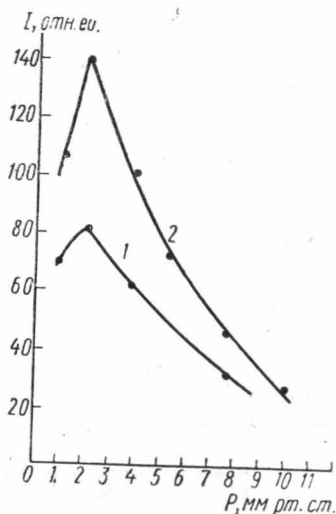


Рис. 3. Зависимость интенсивности сверхизлучения линии 5350 Å от давления неона. Температура трубки: 1 — 760° и 2 — 790° С

Исследование зависимости выходной мощности от напряжения  $U$  на первичной обмотке импульсного трансформатора показало, что существует оптимальная величина напряжения  $U_{\text{опт}} \approx 16 \text{ кв}$ , что, по-видимому, связано с наличием оптимальной электронной температуры  $T_e$ . При больших значениях  $T_e$  скорость накачки верхнего рабочего уровня уменьшается за счет ионизации атома и возбуждения высоколежащих уровней.

Были выполнены оценки абсолютных значений выходной мощности лазера при помощи калиброванного фотоэлемента. В оптимальных условиях работы лазера получено значение мощности сверхизлучения  $P = 200 \text{ вт}$ , что соответствует удельной мощности  $300 \text{ вт/см}^3$ .

Дадим грубую оценку верхней границы удельной энергии импульса лазера на парах таллия. Предполагая в идеальном случае, что нижний рабочий уровень заселяется только через канал генерации и не успевает заметно распадаться за время импульса, получим для энергии импульса сверхизлучения с единицы объема активной среды:

$$E_{\text{имп}} = h\nu N_1^{\text{max}}, \quad (1)$$

где  $N_1^{\text{max}}$  — максимальная величина заселенности нижнего уровня, достигаемая к концу импульса,  $h\nu$  — энергия фотона. Считая, что сверх-

излучение происходит до полного исчезновения инверсии уровней и населенность верхнего уровня в конце импульса имеет максимальное значение

$$N_2^{\text{max}} = N_0 \frac{Q_{\text{возб}}}{Q_{\text{дезак}}} \quad (2)$$

(где  $N_0$  — концентрация атомов на основном нулевом уровне;  $Q_{\text{возб}}$  — сечение прямого возбуждения верхнего рабочего уровня 2 из основного состояния атома, усредненное по скоростям электронов;  $Q_{\text{дезак}}$  — сечение дезактивации уровня 2, включая и ступенчатую ионизацию атома), найдем

$$E_{\text{имп}} = N_0 h \nu \frac{g_1}{g_2} \frac{Q_{\text{возб}}}{Q_{\text{дезак}}}, \quad (3)$$

$g_1$  и  $g_2$  — статистические веса уровней.

Из (3) видно, что энергия импульса существенно определяется отношением сечений прямого возбуждения верхнего уровня к полному сечению дезактивации этого уровня. К сожалению, в литературе нет данных по сечениям дезактивации верхних уровней таллия. Если ориентировочно принять для указанного отношения величину  $10^{-3}$ , то для 5350 Å Tl при  $N_0 = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $p = 1 \text{ мм рт. ст.}$  получим  $E_{\text{имп}} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/см}^3$ . При длительности импульса сверхизлучения  $\tau_{\text{имп}} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ сек}$  удельная выходная мощность составит  $3 \text{ кВт/см}^3$ . Экспериментальные величины удельной мощности значительно ниже этой

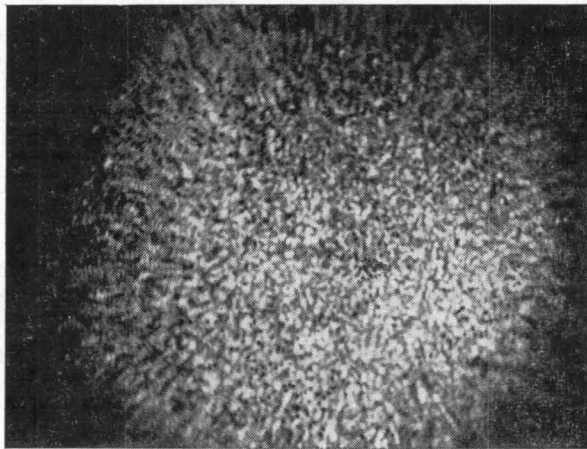


Рис. 4. Распределение интенсивности в поперечном сечении пучка сверхизлучения

цифры, что объясняется, по-видимому, тем, что значительную роль играет накачка нижнего уровня помимо канала генерации. При условии улучшения характеристик возбуждающего электрического импульса можно рассчитывать на существенное увеличение удельной мощности.

На рис. 4 приведена фотография поперечной структуры излучения. Видно, что распределение интенсивности обнаруживает мелкозернистую структуру, аналогичную той, которая наблюдается в лазере на неоне [3, 4]. Средние размеры зерен в ближней зоне от 0,02 до 0,1 мм. В области температур, где начинается погасание пучка, идущего со стороны

катода трубки, в его центральной части появляется провал интенсивности. С ростом температуры область провала расширяется вплоть до полного исчезновения сверхизлучения.

Для изучения спектрального состава сверхизлучения в линии 5350 Å был использован интерферометр Фабри—Перо с толщинами 4, 18, 70 и 100 мм. При толщинах интерферометра 4 и 18 мм наблюдались 3 компонента линии, обусловленные ее изотопической и сверхтонной структурой (рис. 5). На интерферограммах с толщинами 70 и 100 мм заметна специфическая тонкая структура сверхизлучения, наблюдавшаяся ранее в линиях неона [3].

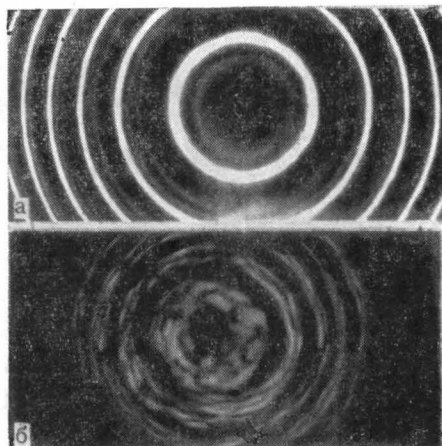


Рис. 5. Интерферограммы сверхизлучения линии 5350 Å Тл. Толщина интерферометра Фабри — Перо: а — 18 и б — 100 мм

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев А. А., Ищенко П. И., Петраш Г. Г. Письма в ЖЭТФ, 6, 619, 1967.
2. Несмеянов А. Н. Давление пара химических элементов. М., Изд-во АН СССР, 1961.
3. Королев Ф. А., Одинцов А. И., Абросимов Г. В., Якунин В. П. «Оптика и спектроскопия», 28, 540, 1970.
4. Абросимов Г. В. «Оптика и спектроскопия», 31, 106, 1971.

Поступила в редакцию  
7.9 1971 г.

Кафедра  
оптики