

## ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПАРОВ ЦИНКА ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Г.С.САРКИСЯН, В.О.ЧАЛТЫКЯН

Институт физических исследований НАН Армении

(Поступила в редакцию 7 ноября 1995 г.)

При взаимодействии импульсного лазерного излучения с парами атомарного цинка получено и исследовано интенсивное направленное излучение на длинах волн 577.2, 429.3 и 334.5 нм с оптически возбужденных уровней  $7^3P_2^0$ ,  $5^1S_0$ ,  $6^3P_0^0$ . Вновь зарегистрированы также ранее полученные линии излучения в фиолетовой и инфракрасной областях на длинах волн 647.9, 481, 472.2, 468, 307.5 нм, 1.89, 1.44, 1.1 мкм при многофотонном возбуждении уровней  $7^1P_1^0$ ,  $5^3S_1^0$ ,  $5^1S_0$ ,  $6^3P_0^0$  атома цинка. Проведена оценка коэффициента преобразования возбуждающего излучения в ИК и фиолетовый диапазоны при наличии буферного газа.

Преобразование оптического излучения в парах металлов в присутствии буферного газа очень часто происходит значительно эффективнее, чем в чистых парах (без буферного газа). В работе [1] при наличии буферного газа гелия в парах цинка исследован процесс генерации второй и третьей гармоники излучения перестраиваемого лазера на красителе (при длительности импульса 12 нс, ширине линии излучения  $0.5 \text{ см}^{-1}$ , мощности 10 кВт) в условиях, когда основная частота близка к резонансу с двухфотонными переходами атома цинка  $4^1S_0 - 5^1S_0$ ,  $4^1S_0 - 4^1D_2$ . В этой работе, наряду со второй и третьей гармониками с эффективностью порядка  $10^{-5}\%$ , наблюдалось также вынужденное излучение с возбужденных уровней  $5^1S_0$ ,  $4^1D_2$  на длинах волн 358.5, 320.2 нм с эффективностью порядка  $10^{-7}\%$ . Авторами работ [2,3] также получен целый ряд новых линий в ИК и УФ областях спектра. Целью настоящей работы было изучение возможностей преобразования частоты в парах цинка в фиолетовую и инфракрасную области спектра. Экспериментально реализовано четырехфотонное лазерное возбуждение атомарного цинка из основного состояния  $4^1S_0$  в состояния  $5^1S_0$ ,  $5^3S_1$ , а также пятифотонное возбуждение высоколежащих уровней  $7^3P_2^0$ ,  $7^1P_1^0$ ,  $6^3P_0^0$ . Импульсное лазерное возбуждение атомов цинка



сопровождалось направленным резонансным УФ и ИК излучением на частотах, приведенных в таблице (приведены также длины волн и соответствующие переходы).

Таблица

Частота, $\text{см}^{-1}$	Длина волны, мкм	Переход
23310	0.429	$5^1S_0 \rightarrow 4^3P^1_1$
32458	0.308	$4^3P^1_1 \rightarrow 4^1S_0$
9091	1.1	$5^1S_0 \rightarrow 4^1P^0_1$
17331	0.577	$7^3P^0_2 \rightarrow 5^3S_1$
21368	0.468	$5^3S_1 \rightarrow 4^3P^0_0$
21186	0.472	$5^3S_1 \rightarrow 4^3P^0_1$
20790	0.481	$5^3S_1 \rightarrow 4^3P^0_2$
6944	1.44	$5^3S_1 \rightarrow 4^1P^0_1$
15432	0.648	$7^1P^0_1 \rightarrow 5^1S_0$
5291	1.89	$6^3P^0_0 \rightarrow 4^3D_1$
29851	0.335	$4^3D_1 \rightarrow 4^3P^0_2$

Используемая экспериментальная установка состояла из следующих узлов. Для формирования излучения накачки использовался наносекундный рубиновый лазер, работающий в режиме гигантских импульсов. Мощность накачки на частоте  $14400 \text{ см}^{-1}$  порядка 70 МВт, длительность импульса 20 нс, ширина спектра линии излучения примерно  $0.1 \text{ см}^{-1}$ . Для генерации второго лазерного пучка использовалось излучение стоксовых компонент ВКР рубинового лазера в ряде органических жидкостей: бензол, четыреххлористый углерод, толуол. Мощность стоксова излучения была 15 МВт, длительность импульса - 10 нс, ширина спектра -  $0.2 \text{ см}^{-1}$ . Возбуждающее излучение фокусировалось в центр металлической вакуумной кюветы, содержащей пары цинка с аргоном, длина горячей зоны была порядка 10 см. Эксперименты



проводились в интервале плотностей числа атомов цинка от  $8 \cdot 10^{15}$  до  $1.8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , что соответствует температуре паров 450-800°C. Давление аргона внутри кюветы менялось в интервале от 100 до 500 Торр. Полученное в парах цинка фиолетовое излучение, проходя через интерференционные фильтры, задерживающие возбуждающее излучение, направлялось кварцевой линзой на спектрографы ИСП-30 и ДФС-13. Регистрация ИК излучения проводилась монохроматором ИКС-12; в качестве приемника служил фотодиод ФД-10а. Предварительно на спектрографе ДФС-13 был получен спектр поглощения линии 308 нм, соответствующей переходу атома цинка с основного уровня  $4^1S_0$  на уровень  $4^3P^0_1$ .

Были проведены также измерения с "чистыми" парами ( без буферного газа). Для этого откачанная кварцевая кювета с парами помещалась в печь с регулируемой температурой. Длина печи в 4 раза превосходила длину кюветы, что позволяло практически полностью устранить градиент температуры по длине кюветы. Контроль температуры кюветы осуществлялся с помощью градуированной термопары марки ТХА, позволяющей проводить измерение температуры с точностью до 0.5°C.

Эксперименты показали, что КПД по мощности в металлической кювете при  $N_{Zn} = 3.2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  для всех фиолетовых линий порядка  $\eta \sim 10^{-3} \%$ , что на порядок больше, чем  $\eta$  для этих же линий в кварцевой кювете. В случае же ИК линий присутствие буферного газа аргона приводит к некоторому спаду интенсивности и соответственно к уменьшению  $\eta$  на порядок ( $\sim 10^{-4} \%$ ).

Экспериментальная установка давала возможность проводить исследования зависимости интенсивностей ( $I_c$ ) УФ и ИК линий от давления буферного газа ( $p_b$ ) и от плотности числа атомов цинка  $N_{Zn}$ . Получены кривые зависимости  $I_c$  от  $p_b$  при  $N_{Zn} = 3.2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и  $I_c$  от  $N_{Zn}$  при  $p_b = 430 \text{ Торр}$  для линий 0.481, 0.468, 0.577, 0.335, 0.429, 0.648 и 1.1 мкм. Интенсивность фиолетовых линий растет с ростом  $p_b$  и  $N_{Zn}$ . Максимум интенсивности линий 0.577 и 0.429 мкм наблюдается при  $p_b = 430 \text{ Торр}$ ,  $N_{Zn} = 3.2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , а максимум линии излучения 0.648 мкм имеет место при том же давлении буферного газа и при  $N_{Zn} = 5.44 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , что соответствует температуре паров 550°C



(на рис.1 приведен для примера график зависимости интенсивности линии 0.648 мкм от плотности числа атомов цинка при  $p_b = 430$  Торр).

Наблюдаемые спектральные линии обусловлены многофотонным возбуждением высоколежащих уровней атома цинка. Так, линии на 0.429, 0.308 мкм являются результатом каскадных переходов  $5^1S_0 \rightarrow 4^3P_1 \rightarrow 4^1S_0$  из состояния  $5^1S_0$ , возбуждаемого четырьмя

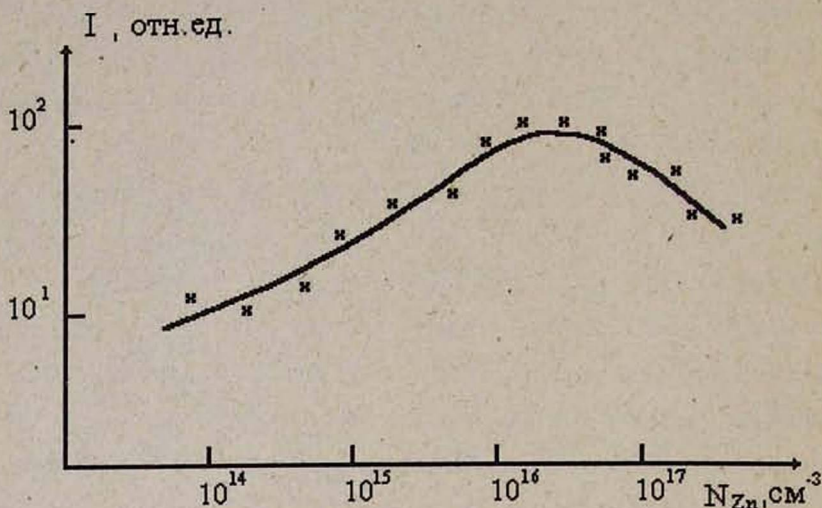


Рис.1. Зависимость интенсивности линии излучения 648 нм от плотности числа атомов цинка при давлении аргона 430 Торр.

фотонами первой стоксовой компоненты  $\text{CCl}_4$  (длина волны  $\lambda = 717.1$  нм, расстройка резонанса  $\Delta = 17 \text{ см}^{-1}$ ). При этом на переходе  $5^1S_1 - 4^1P_0$  излучается также инфракрасный фотон с  $\lambda = 1.1$  мкм. Пятифотонное возбуждение триплетного уровня  $7^3P_2$  четырьмя фотонами рубинового лазера и одним - первой стоксовой компоненты ВКР в толуоле ( $\lambda = 746.3$  нм,  $\Delta = 8 \text{ см}^{-1}$ ) сопровождается каскадными переходами  $7^3P_2 \rightarrow 5^3S_1 - 4^3P_{0,1,2}, 4^1P_0$ ; при этом испускаются фотоны длин волн 0.577, 0.468, 0.472, 0.481 мкм и инфракрасные фотоны 1.44 мкм. Интенсивность линий 0.468, 0.472, 0.481 и 1.44 мкм намного меньше, чем в случае испускания этих же линий при возбуждении триплетного состояния  $5^3S_1$  четырьмя фотонами стоксовой компоненты бензола ( $\lambda = 745.7$  нм,  $\Delta = 28 \text{ см}^{-1}$ ).



При задержке излучения рубинового лазера увеличивается интенсивность линий переходов  $5^3S_1 \rightarrow 4^3P_{0,1,2}^0$ ,  $4^1P_1^0$ , что связано с отсутствием в этом случае перехода  $5^3S_1 \rightarrow 6^3P_0^0$ , резонансного излучению рубинового лазера ( $\lambda = 694.4$  нм). Линия на 647.9 нм обусловлена пятифотонным возбуждением синглетного уровня  $7^1P_1^0$  (фотонами рубинового лазера), с последующим переходом на  $5^1S_0$ . В условиях нашего эксперимента максимальная интенсивность этой линии достигается при температуре паров цинка  $550^\circ\text{C}$ .

При пятифотонном возбуждении уровня  $6^3P_0^0$  фотоном рубинового лазера и четырьмя фотонами первой стоксовой компоненты бензола ( $\Delta = -27 \text{ см}^{-1}$ ) имеет место резонансное испускание на длинах волн 1.89 мкм и 0.335 мкм на каскаде переходов  $6^3P_0^0 \rightarrow 4^3D_1 \rightarrow 4^3P_2^0$ .

Таким образом, получено эффективное преобразование частоты излучения рубинового лазера и его стоксовых компонент в ряде органических жидкостей в ультрафиолетовую и инфракрасную области спектра. Показано, что наличие в парах цинка буферного газа существенно влияет на эффективность преобразования. Получены области плотностей паров и давлений буферного газа, соответствующие наибольшей эффективности преобразования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. W.Jamroz, P.E.La Rocque, and B.P.Stoicheff. Opt. Lett., 7, 148 (1982).
2. W.T.Silfvast and O.R.Wood. Opt.Lett., 7, 34 (1982).
3. A.M.Crooker and K.A.Dick. Canad. J. Phys., 46, 1241 (1969).

## STIMULATED EMISSION FROM ZINC VAPOR UNDER LASER EXCITATION

G.S.SARKISYAN and V.O.CHALTYKYAN

Intense directed emission from zinc vapor interacting with a pulsed laser radiation was obtained and studied at the wavelengths 577.2, 429.3, 334.5 nm from the optically excited  $7^3P_2^0$ ,  $5^1S_0$ ,  $6^3P_0^0$  levels. The earlier observed emission lines in violet and IR regions at 647.9, 481, 472.2, 468, 307.5 nm and 1.89, 1.44, 1.1  $\mu\text{m}$  arising when the multiphoton excitation of the  $7^1P_1^0$ ,  $5^3S_0$ ,  $5^1S_0$ ,  $6^3P_0^0$  levels occurs are also reobtained and studied. The efficiency of frequency conversion into the violet and IR regions in the presence of a buffer gas is evaluated.



ՅԻՆԿԻ ԳՈԼՈՐՇՈՒ ՍՏԻՊՈՂԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄԸ  
ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԳՐԳՈՍԱՆ ԴԵՊՔԻՄ

Գ. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ. Հ. ՉԱԼԹԻԿՅԱՆ

Ատոմական ցինկի գոյությունը հետ խճայուսայրս լուզերային ճառագայթման վախճագոյեցության դեպքում ստացված և հետագազտված է ինտենսիվ ուղղորդված առարքում 557.2, 429.3, 334.5 նմ ալիքի երկարության վրա  $7^3P^0_2$ ,  $5^1S_0$ ,  $6^3P^0_0$  օպտիկապես զրգոված մակարդակներից: Գրանցվել են նաև մախկինում դիտված 647.9, 481, 472.2, 468, 307.5 նմ և 1.89, 1.44, 1.1 մկմ ալիքի երկարությամբ առարքման գծերը մանուշակագույն և ինֆրակարմիր տիրույթներում ցինկի՝ առումի  $7^1P^0_1$ ,  $5^3S^0_1$ ,  $5^1S_0$ ,  $6^3P^0_0$  մակարդակների բազմաֆոտոն զրգոման դեպքում: Կուտարված է բուֆերային զանգի առկայության դեպքում զրգոյ ճառագայթման հստախտության՝ ԻԿ և մանուշակագույն տիրույթները ձևավոխտության զործակցի գնահատումը: