

ми переходных элементов в аномально низком валентном состоянии ( $\Delta\lambda_m < 0$ ). С ростом концентрации последних знак  $\Delta\lambda_m$  изменяется на обратный.

Таким образом, исследование параметров спектров флуоресценции адсорбированных молекул эритрозина на поверхности полупроводниковых структур (см. также [10]) позволяет получать ценную информацию как о характере взаимодействия этих молекул с поверхностью, так и о свойствах самой поверхности, степени ее однородности и зарядовом состоянии ее дефектов.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В. Ф. Киселеву за интерес к работе и полезные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Винценц С. В. и др. ДАН СССР, 1984, 274, № 1, с. 96. [2] Дрозд В. Е., Левшин Л. В., Плотников Г. С., Салецкий А. М. Журн. прикл. спектр., 1984, 41, с. 575. [3] Алесковский В. Б. Стехиометрия и синтез твердых соединений. М.: Наука, 1976. [4] Козлов С. Н., Плотников Г. С. Изв. вузов. Физика, 1978, 10, с. 105. [5] Дрозд В. Е., Козлов С. Н., Плотников Г. С. Деп. ВИНТИ № 2661-80. [6] Baretz V. H., Turro N. Y. J. of Photochemistry, 1984, 24, p. 201. [7] Garoffi S., Stephens R. V., Hanson C. D., Sorensen G. K. J. of Luminescence, 1981, 24/25, p. 777. [8] Code R. F., Popovic Z. D., Sharp J. H. Chem. Phys., 1984, 83, p. 181. [9] Грицков А. Н., Швец В. А., Казанский В. Б. Кинетика и катализ, 1973, 14, с. 1062. [10] Беспалов В. А. и др. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1985, 26, № 2, с. 56.

Поступила в редакцию  
04.02.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1986, т. 27, № 2

УДК 621.373:535+539.184

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ АТОМОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Н. В. Знаменский, Л. С. Корниенко, В. Е. Мнускин, В. И. Одинцов,  
А. Н. Токарева, Б. Ф. Тринчук

(кафедра оптики и спектроскопии)

Известно, что в условиях двухфотонного резонанса с переходом из основного состояния атомов щелочных металлов имеет место эффективная генерация вынужденного инфракрасного (ИК) излучения. Вместе с тем мощные ИК линии могут возбуждаться и при перестройке частоты накачки  $\omega_L$  в окрестностях переходов между верхними уровнями, что впервые было установлено в работе [1]. В ней зарегистрирован и исследован целый ряд вынужденных ИК переходов, возникающих при перестройке  $\omega_L$  между верхними  $5^2P_{3/2}$  и  $5^2D_{5/2}$  уровнями атома Rb. Их появление было интерпретировано как результат многофотонного возбуждения атомов выше предела ионизации. Однако почти эквидистантное расположение уровней  $5^2S_{1/2}$ ,  $5^2P_{3/2}$  и  $5^2D_{5/2}$  приводило к тому, что в этих экспериментах частота накачки оказывалась близка, и к частотам двухфотонного  $5^2S_{1/2}-5^2D_{5/2}$ , а также однофотонного  $5^2S_{1/2}-5^2P_{3/2}$  переходов из основного состояния. Это не позволяет непосредственно оценить вклад резонанса  $5^2P_{3/2}-5^2D_{5/2}$  в генерацию вынужденного ИК излучения.

Представляет значительный интерес исследовать возможность возбуждения вынужденного ИК излучения в парах щелочных металлов в условиях изолированных резонансов с переходами между верхними уровнями, что и явилось основной целью настоящей работы.

Эксперименты проводились в парах Rb и Na. Источником возбуждающего излучения был импульсный лазер на красителях с перестраиваемой частотой и узкой линией генерации (подробнее см. [1, 2]). Его излучение фокусировалось в кювету с парами щелочного металла длиной 20 см, имевшую оптические окна из сапфира. Сечение лазерного пучка внутри кюветы было около 1 мм<sup>2</sup>. Регистрирующая аппаратура имела спектральное разрешение не хуже 5 см<sup>-1</sup> и позволяла фиксировать ИК сигналы с энергией до  $2 \cdot 10^{-7}$  Дж.

При использовании в качестве рабочего вещества паров Rb частота накачки  $\omega_L$  перестраивалась в окрестностях резонансов  $5^2P_{1/2,3/2}-7^2S_{1/2}$  (рис. 1). В этом случае расстройкой от частот ближайших однофотонного  $5^2S_{1/2}-5^2P_{3/2}$  и двухфотонного  $5^2S_{1/2}-5^2D_{5/2}$  переходов из основного состояния составляли около  $700\text{ см}^{-1}$ . Было обнаружено мощное вынужденное ИК излучение на фиксированных длинах волн:  $3,97\text{ мкм}$  ( $6^2P_{3/2}-7^2S_{1/2}$ ),  $3,85\text{ мкм}$  ( $6^2P_{1/2}-7^2S_{1/2}$ ),  $2,73\text{ мкм}$  ( $6^2S_{1/2}-6^2P_{3/2}$ ),  $2,79\text{ мкм}$  ( $6^2S_{1/2}-6^2P_{1/2}$ ),  $2,25\text{ мкм}$  ( $4^2D_{5/2}-6^2P_{3/2}$ ),  $2,29\text{ мкм}$  ( $4^2D_{3/2}-6^2P_{1/2}$ ),  $1,37\text{ мкм}$  ( $5^2P_{3/2}-6^2S_{1/2}$ ),  $1,32\text{ мкм}$  ( $5^2P_{1/2}-6^2S_{1/2}$ ),  $1,53\text{ мкм}$  ( $5^2P_{3/2}-4^2D_{5/2}$ ),  $1,47\text{ мкм}$  ( $5^2P_{1/2}-4^2D_{3/2}$ ). Наряду с этим при перестройке  $\omega_L$  вблизи перехода  $5^2P_{3/2}-7^2S_{1/2}$  наблюдалось интенсивное ИК ВКР на частоте  $\omega_s$ .

Исследования пороговых и энергетических характеристик вынужденного ИК излучения позволили установить следующие общие закономерности его поведения.

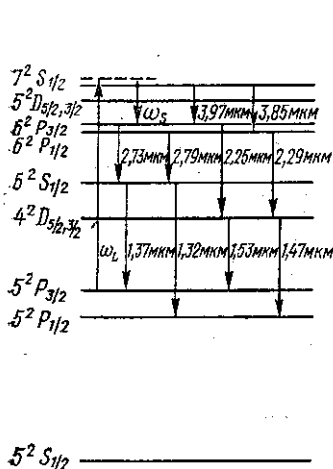


Рис. 1. Схема возбуждения вынужденного ИК излучения в парах рубидия

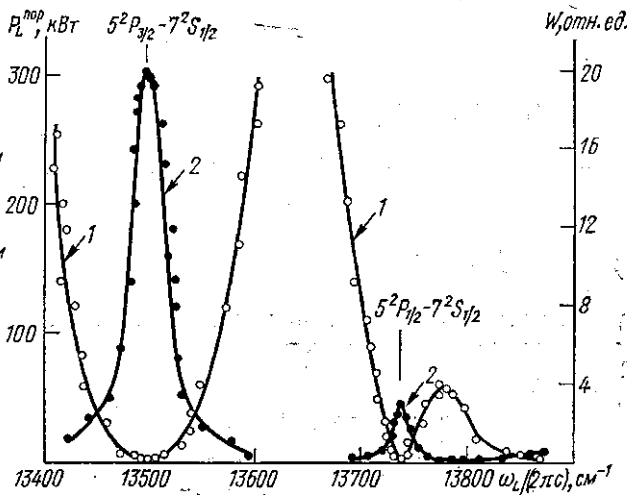


Рис. 2. Зависимость порога возбуждения  $P_L^{\text{пор}}$  (1) и энергии  $W$  (2) линии  $2,25\text{ мкм}$  от частоты накачки

1. Каскадный характер генерации ИК линий: вынужденное ИК излучение с верхних уровней приводит к заселению нижерасположенных энергетических состояний, с которых в свою очередь возникают вынужденные ИК переходы на еще более низкие уровни. При этом наблюдается корреляция в поведении ИК линий, имеющих общий уровень, для одной из которых он является начальным, а для другой — конечным.

2. Резонансный характер возбуждения ИК линий: максимальные значения энергии и минимальные значения порога их возбуждения имеют место в условиях точного резонанса с переходами  $5^2P_{1/2}-7^2S_{1/2}$  и  $5^2P_{3/2}-7^2S_{1/2}$ .

В качестве иллюстрации последнего вывода на рис. 2 приведены результаты исследований частотной зависимости порога возбуждения  $P_L^{\text{пор}}$  (кривая 1) и энергии  $W$  (кривая 2) одной из наблюдавшихся ИК линий, соответствующей атомному переходу  $4^2D_{5/2}-6^2P_{3/2}$  ( $2,25\text{ мкм}$ ). Температура паров Rb в этих экспериментах была  $310^\circ\text{ С}$ . При изучении энергетических характеристик мощность возбуждающего лазера оставалась постоянной и составляла  $250\text{ кВт}$ . Хорошо видно, что наибольшая эффективность возбуждения линии  $2,25\text{ мкм}$  имеет место именно в условиях резонансов  $5^2P_{1/2}-7^2S_{1/2}$  и  $5^2P_{3/2}-7^2S_{1/2}$ . В этом случае порог ее возбуждения существенно меньше  $1\text{ кВт}$ , а энергия достигает максимальных значений, составляющих соответственно  $3$  и  $20\%$  (по числу квантов) от энергии накачки. Наблюдаемое на графиках уменьшение порога возбуждения и возрастание энергии линии  $2,25\text{ мкм}$  в области больших коротковолновых расстройок от резонанса  $5^2P_{1/2}-7^2S_{1/2}$ , по-видимому, связано с приближением частоты накачки к частоте разрешенного молекулярного перехода  $1\Sigma_g^+ - 1\Pi_u$ . В результате возрастает вероятность двухфотонного возбуждения молекул  $\text{Rb}_2$ , а их последующая диссоциация на атомы в состоянии  $6^2P_{3/2}$  [3] приводит к заселению исходного для линии  $2,25\text{ мкм}$  уровня.

При использовании в качестве рабочего вещества паров Na частота накачки  $\omega_L$  перестраивалась в окрестностях резонансов с переходами между верхними  $3^2P_{1/2,3/2}$  и  $n^2D_{3/2,5/2}$  или  $(n-1)^2S_{1/2}$  уровнями ( $n=4, 5, 6, 7$ ). В этом случае также возбужда-

лось мощное вынужденное ИК излучение. Например, при перестройке  $\omega_L$  вблизи резонанса  $3^2P_{3/2}-4^2D_{5/2}$  были зарегистрированы ИК линии с длинами волн: 2,338 мкм ( $4^2P_{3/2}-4^2D_{5/2}$ ), 2,335 мкм ( $4^2P_{1/2}-4^2D_{3/2}$ ), 2,209 мкм ( $4^2S_{1/2}-4^2P_{1/2}$ ), 2,206 мкм ( $4^2S_{1/2}-4^2P_{3/2}$ ), 1,138 мкм ( $3^2P_{1/2}-4^2S_{1/2}$ ), 1,140 мкм ( $3^2P_{3/2}-4^2S_{1/2}$ ), 0,819 мкм ( $3^2P_{3/2}-3^2D_{3/2}$ )\*. Максимум их энергии и минимум порога возбуждения, так же как и в экспериментах с Rb, наблюдались при точном резонансе. В этих условиях порог возбуждения наиболее мощной ИК линии 2,338 мкм составлял не более 1 кВт, а ее энергия достигала значений, соответствующих 30%-ному преобразованию по числу квантов. Аналогичная картина имела место и при перестройке частоты накачки  $\omega_L$  в окрестностях других верхних переходов атома Na.

Таким образом, проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что в условиях изолированных резонансов с переходами между верхними уровнями атомов щелочных металлов имеет место эффективная генерация вынужденного ИК излучения.

В заключение отметим, что обнаруженный в настоящей работе эффект возбуждения вынужденного ИК излучения в условиях изолированных верхних резонансов может быть с успехом использован для преобразования видимого лазерного излучения в далекий ИК диапазон.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Королев Ф. А., Знаменский Н. В., Одинцов В. И. Письма в ЖЭТФ, 1978, 28, с. 453. [2] Дорофеев С. Н. и др. Журн. прикл. спектр., 1984, 40, с. 686. [3] Sorokin P. P., Lanford J. R. J. Chem. Phys., 1971, 54, p. 2184.

Поступила в редакцию  
22.02.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1986, т. 27, № 2

УДК 577.32

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КР-СПЕКТРОВ ГЛОБУЛЯРНЫХ БЕЛКОВ

В. Г. Пирогов, В. А. Соколина, М. В. Федоров, Ю. И. Хургин,  
Н. Г. Церевитникова, А. Ю. Чикишев

(НИИЯФ)

Среди множества спектроскопических методов исследования биомолекул важное место занимает спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС). Прогресс в этой области экспериментальной физики обусловлен широким распространением лазерных источников света, специализированных спектрометров, малошумящих чувствительных детекторов, а также доступностью миниЭВМ. Спектроскопия КРС обладает рядом принципиальных преимуществ перед другими методиками, позволяя при использовании стеклянной оптики получать подробные панорамные колебательные спектры молекул, работать в низкочастотной области спектра и, что особенно важно, легко изучать водные растворы и благодаря высокой чувствительности современных КР-спектрометров работать с микроколичествами исследуемых веществ (до мкг) [1, 2].

При получении КР-спектров белков возникают специфические экспериментальные трудности, связанные главным образом с крайне низким уровнем сигнала при КРС и с наличием, как правило, сильной фоновой люминесценции. Из-за низкого отношения сигнал/шум для слабых КР-сигналов не всегда удается получить информацию о функционально важных участках биологически активных молекул. В связи с этим необходимо создание приборов и методик, способных реализовать широкие потенциальные возможности спектроскопии КРС для исследования биополимеров.

Нами была создана автоматизированная установка для регистрации КР-спектров, технические параметры которой позволили работать со столь сложными объектами, как биологические. Принципиальная схема установки изображена на рис. 1. В качестве источников излучения использовались импульсный лазер на АИГ:  $Nd^{3+}$  ЛТИ-701 (532 нм) и непрерывный аргоновый лазер ЛГ-106М (488 и 514,5 нм) с дисперсионным резонатором. Кюветное отделение строилось по схеме 180°. Для детектирования излучения применялся ФЭУ-136 либо видикон. Импульсы работающего в режиме счета

\* Линии ИК переходов  $3^2D_{5/2}-4^2P_{3/2}$  (9,09 мкм) и  $3^2D_{3/2}-4^2P_{3/2}$  (9,14 мкм) не могли быть обнаружены вследствие их поглощения сапфировыми окнами кюветы.