

ОТСРΟЙКА ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СПЕКТРОВ
КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 1950 К

А. Б. Кудрявцев, А. А. Соболев

УДК 535.37.54

Описывается методика для регистрации спектров КРС веществ в кристаллическом и расплавленном состояниях при ранее недоступных температурах (до 1950 К). Теоретически показана принципиальная возможность дальнейшего повышения температурного предела эксперимента вплоть до 2500 К.

Высокотемпературный предел лазерной спектроскопии КРС можно существенно поднять при использовании импульсного лазерного возбуждения в сочетании с соответствующей схемой регистрации. В данной работе произведена численная оценка высокотемпературного предела регистрации спектров КРС при использовании импульсного возбуждения и приводится методика регистрации спектров КРС при температурах до 1950 К. Оценка проводилась на примере линии КРС симметрии $A_g(\Delta\nu) = 811 \text{ см}^{-1}$ при $T = 300 \text{ К}$ в

кристалле LaNbO_4 . Эта линия достаточно далеко отстоит от других линий спектра и при нагревании до 1750 К по частоте смещается незначительно ($\sim 15 \text{ см}^{-1}$), что исключало ее перекрытие с другими линиями /1/.

В качестве критерия надежной регистрации в режиме счета фотонов линии с частотой $\Delta\nu$ и интенсивностью I_L при наличии температурного фона с интенсивностью I_F было взято реальное условие:

$$I_L(\Delta\nu) \gg 10\delta_F, \quad (1)$$

где $\delta_F = [\langle (I_F - \langle I_F \rangle)^2 \rangle]^{1/2}$ - среднеквадратичная флуктуация интенсивности теплового фона. Под интенсивностью I везде следует понимать скорость фотоотсчетов $I = N/\Delta t$, где N - число фотоотсчетов за время регистрации Δt (в наших экспериментах $\Delta t = 0,2 \text{ с}$). Если N распределено по закону Пуассона, что справедливо для нашего случая, то $\langle (N - \langle N \rangle)^2 \rangle = \langle N \rangle$, и следовательно, $\delta_F = (\langle I_F \rangle / \Delta t)^{1/2}$; тогда условие (1) можно представить в виде

$$I_L(\Delta\nu) \gg 10(\langle I_F \rangle / \Delta t)^{1/2}. \quad (2)$$

Температурную зависимость интенсивности теплового фона можно описать с помощью функции Планка при фиксированной частоте ν ($\nu = \nu_L - \Delta\nu$, где ν_L - частота зеленой линии лазера на парах меди, а $\Delta\nu$ - частота стоксовой линии КРС), если считать, что излучение образца и печи в данном частотном интервале соответствует модели "серого" тела:

$$I_F(T) = A[\exp(h\nu/kT) - 1]^{-1}. \quad (3)$$

Для простоты предполагалось, что температурная зависимость интенсивности линии КРС с частотой $\Delta\nu = 800 \text{ см}^{-1}$ описывается только бозе-фактором:

$$I_L(T) = B[1 - \exp(h\Delta\nu/kT)]^{-1}. \quad (4)$$

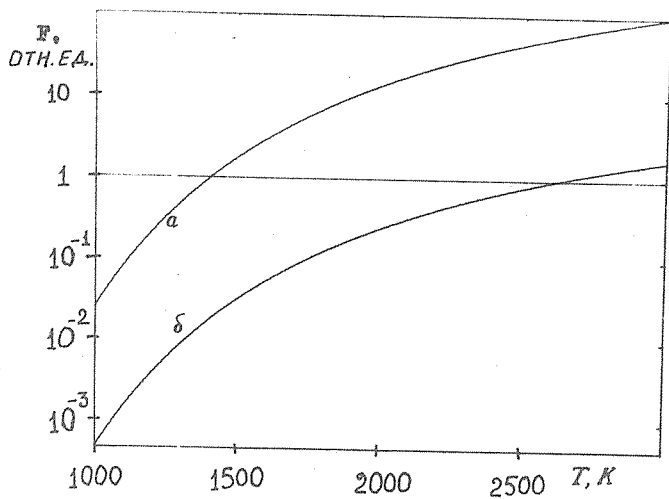
Константы A в (3) и B в (4) определялись из условия калибровки по нескольким экспериментальным точкам функций $I_F(T)$ и $I_L(T)$

в единицах скорости фотоотсчетов (импульсы в секунду). Учитывая (3) и (4), условие регистрации данной линии КРС при наличии теплового фона можно переписать так:

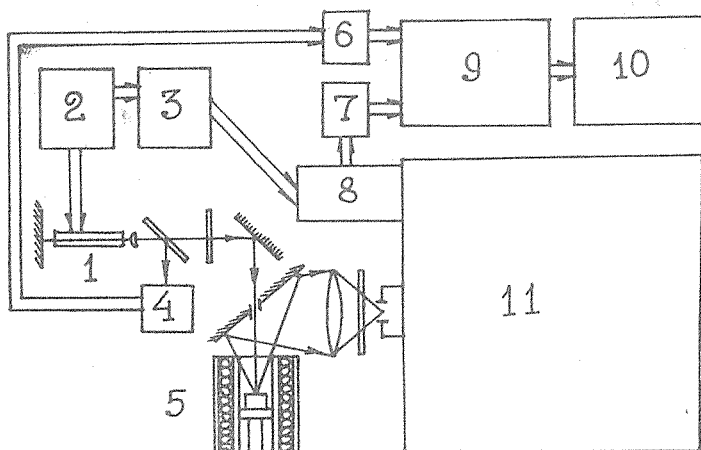
$$F(T) \ll 1, \quad (5)$$

$$\text{где } F(T) = (10A^{1/2}/\Delta t^{1/2}) [1 - \exp(h\lambda/kT)] [\exp(h\lambda/kT) - 1]^{-1/2}.$$

На рис. I представлен график функции $F(T)$ (кривая а). Из него видно, что верхний температурный предел регистрации выбранной линии КРС с помощью обычной методики с непрерывным лазерным возбуждением составляет ~ 1400 К. Использование импульсного возбуждения и применение схемы стробирования, которая запирает схему регистрации на время отсутствия лазерного импульса, приведет к уменьшению регистрируемой интенсивности теплового фона в K раз, где K — коэффициент ослабления, зависящий от величины скважности лазерного импульса и ширины временного окна схемы стробирования. Кривая б на рис. I представляет график функции



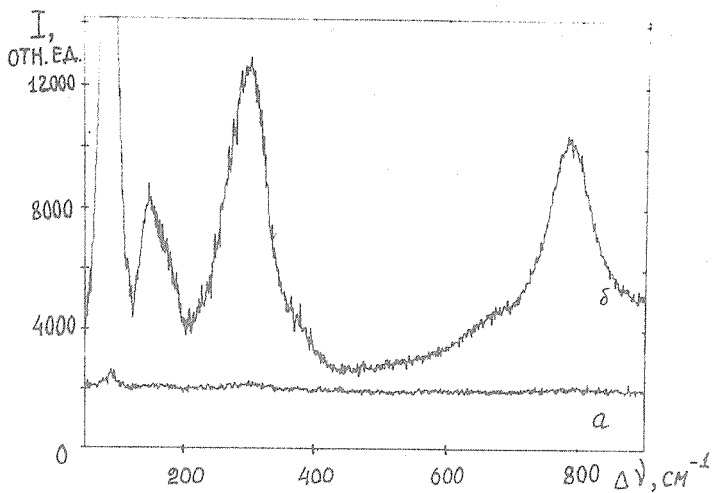
Р и с. I. Зависимость функции F от температуры: а — без отстройки от теплового фона; б — с отстройкой от теплового фона; (коэффициент отстройки $K = 3 \cdot 10^3$)



Р и с. 2. Блок-схема установки для высокотемпературных исследований комбинационного рассеяния света: I - лазер на парах меди; 2 - блок питания лазера; 3 - модулятор; 4 - опорный ФЭУ; 5 - печь сопротивления с образцом; 6,7 - формирователи; 8 - ФЭУ; 9 - схема совпадений; 10 - блок обработки данных; 11 - спектрометр

$F(T)$ для $K = 3 \cdot 10^3$. Таким образом, из рис. I видно, что применение схемы стробирования (при импульсном лазерном возбуждении) позволяет поднять температурный предел регистрации спектров КРС данного монокристалла более чем на 1000 K, то есть по крайней мере до 2500 K. Однако применение такого способа в работе /1/ дало возможность регистрировать спектры КРС только до температур ~ 1800 K. Причиной этого является насыщение ФЭУ по анодному току, то есть работа ФЭУ в нелинейной области световой характеристики, вследствие значительной интенсивности температурного фона. В этой связи было разумно схему стробирования дополнить схемой модуляции ФЭУ по электродам, которая, как было показано в работе /2/, дает возможность устранить эффект насыщения фотоумножителя.

Нами была сконструирована установка для регистрации спектров КРС при высоких температурах, в которой для ослабления вли-



Р и с. 3. Спектр КРС кристалла LaAlO_3 при $T = 1950$ К. По оси абсцисс отложен сдвиг частоты относительно лазерной линии $5106,5 \text{ \AA}$: а – при работе ФЭУ без модуляции; б – при модуляционном режиме работы ФЭУ

ания теплового фона использовался метод стробирования с одновременной модуляцией ФЭУ по электродам (рис. 2). В качестве источника возбуждения использовался импульсно-периодический лазер на парах меди ($\lambda = 5105,5 \text{ \AA}$), работающий с частотой повторения 10 кГц, с импульсной мощностью до 100 кВт и длительностью импульса 8 нс. Высокая импульсная мощность такого источника обеспечивает значительный выигрыш в контрасте сигнала КРС над тепловым фоном. Кроме того, высокая частота повторения приводит к существенному сокращению времени регистрации спектра КРС. Лазер был синхронизирован с модулятором ФЭУ.

Экспериментально было найдено, что при температуре 1950 К (дальнейшее повышение температуры грозило разрушением нагревателя печи) при режиме с модуляцией ФЭУ, даже при щелях 2500 мкм, ФЭУ работает без перегрузки, в то время, как при обычном режиме работы ФЭУ из-за эффекта насыщения практически невозможно было работать при ширине щели больше 150 мкм.

На рис. 3 представлены два спектра КРС в LaNbO_4 при $T = 1950 \text{ K}$: первый (а) соответствует обычному режиму работы ФЭУ, второй (б) – работе ФЭУ в режиме с модуляцией. Спектр (а) был получен при ширине щели спектрометра 150 мкм, спектр (б) – при 1600 мкм. Рис. 2 наглядно демонстрирует существенный выигрыш в соотношении сигнал/шум при модуляционном режиме работы ФЭУ.

Поступила в редакцию

16 июня 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. В. Ананьева и др., ФТТ, 23, 1079 (1981).
2. F. DeMarco, E. Penco, Rev. Sci. Instr., 40, 1158 (1969).