

## ФЕРМИ-РЕЗОНАНС В ФОНОННОМ СПЕКТРЕ КРИСТАЛЛА $\alpha$ - $\text{HfO}_3$

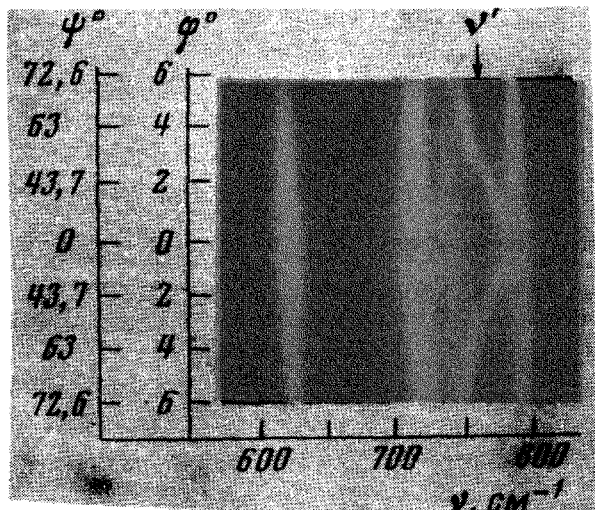
*В. Ф. Китаева, Л. А. Кулевский, Ю. Н. Поливанов,  
С. Н. Полуэктов*

Ранее нами сообщалось о наблюдении явления ферми-резонанса при комбинационном рассеянии света на поляритонах в кристалле  $\alpha$ - $\text{HfO}_3$  [1], которое происходит при пересечении ветви связанного состояния двух оптических фононов (бифонона) с поляритонной ветвью. Это явление сопровождается обменом в интенсивностях света, рассеянного на поляритоне и бифононе, и возникновением энергетической щели вблизи резонансного пересечения ветвей бифонона и поляритона.

Представим себе теперь ситуацию, когда в исследуемом кристалле имеется фононная ветвь с большой силой осциллятора. В этом случае мы будем иметь значительное расстояние между частотами продольного  $\nu_{LO}$  и поперечного  $\nu_{TO}$  оптического фонона. Предположим далее, что частота какого-либо оптического фонона  $\nu'$ , в общем случае любого порядка, с малой силой осциллятора попадает в область между частотами  $\nu_{LO}$  и  $\nu_{TO}$  ( $\nu_{LO} > \nu' > \nu_{TO}$ ). Если мы теперь будем изменять направление волнового вектора фонона по отношению к его поляризации, то мы можем изменять частоту фонона в интервале от  $\nu_{LO}$  до  $\nu_{TO}$  и, следовательно, реализовать условие, при котором частота "сильного" оптического фонона пересечет частоту "слабого" оптического фонона  $\nu'$ . В этом случае должно наблюдаться резонансное взаимодействие между этими двумя фононами, которое мы называем ферми-резонансом в фононном спектре кристалла.

Нами впервые наблюдалось явление ферми-резонанса в фононном спектре кристалла  $\alpha$ - $\text{HfO}_3$  при помощи комбинационного рассеяния света на оптических фононах под малыми углами. Комбинационное рассеяние света под малыми углами наблюдалось при помощи фотографической методики, при которой щель спектрографа помещается в фокальной плоскости линзы, расположенной после исследуемого образца. При

этом на фотографии получается зависимость частоты рассеянного света от угла рассеяния. Поскольку величины волновых векторов возбуждающего и рассеянного излучений много больше величины волнового вектора оптического фонона, то при комбинационном рассеянии света под малыми углами при незначительном изменении угла рассеяния происходит большое изменение направления волнового вектора оптического фонона. Это обстоятельство может быть использовано для реализации пересечения ветвей "сильного" и "слабого" оптического фонона.



Частотно-угловой спектр комбинационного рассеяния в  $\alpha\text{-HfO}_3$ :  $\nu$  – частота стоксового сдвига,  $\phi$  – угол рассеяния,  $\psi$  – угол между направлением волнового вектора оптического фонона и кристаллографической осью  $Y$

На рисунке представлен частотно-угловой спектр комбинационного рассеяния света под малыми углами в кристалле  $\alpha\text{-HfO}_3$ , при возбуждении излучением аргонового лазера с длиной волны  $5145 \text{ \AA}$ . Возбуждающее излучение распространялось и было поляризовано вдоль кристаллографических осей  $Y$  и  $Z$  соответственно (обозначение кристаллографических осей соответствует условию  $N_x > N_y > N_z$ , где  $N_i$  – главные значения показателей преломления). Три интенсивных линии, частоты которых равны  $628, 714$  и  $781 \text{ см}^{-1}$  и не зависят от угла рассеяния, соответствуют рассеянию света на неполярных колебаниях решетки симметрии  $A [2]$ . Линия, частота которой зависит от угла рассеяния, соответствует рассеянию света на полярном колебании решетки, для которого  $\nu_{LO} = 778,5 \text{ см}^{-1}$  и  $\nu_{TO} = 736,5 \text{ см}^{-1}$  [2], а тензор комбинационного рассеяния имеет вид  $B(Y) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \sigma \\ 0 & 0 & 0 \\ \sigma & 0 & 0 \end{pmatrix}$ . Таким обра-

зом, при рассеянии вперед ( $\phi = 0^\circ$ ) наблюдается рассеяние света на продольном оптическом фононе. Из рисунка видно, что при изменении угла рассеяния  $\phi$  от  $0$  до  $6^\circ$  в плоскости  $YX$  угол  $\psi$  между волновым вектором оптического фонона и кристаллографической осью  $Y$  изменяется от  $0$  до  $72,6^\circ$ , а частота оптического фонона, на котором происходит рассеяние, изменяется от  $\nu_{LO} = 776$  до  $\nu_{LO, TO} \approx 745 \text{ см}^{-1}$ . Эти результаты находятся в хорошем согласии с результатами, полученными при наблюдении комбинационного рассеяния света под  $90^\circ$  [2]. Заметим, что из-за большого двулучепреломления величина волнового вектора фонона при данной геометрии рассеяния составляет  $\sim 10^4 \text{ см}^{-1}$ .

При таких значениях волнового вектора фонона поляритонный эффект дает незначительный вклад в изменение частоты рассеянного света.

Из рисунка видно также, что линия рассеянного излучения, частота которого зависит от угла рассеяния, претерпевает "разрыв" вблизи частоты  $\nu' \approx 756 \text{ см}^{-1}$  (при  $\phi \approx 3^\circ$ ). Этот "разрыв" мы связываем с существованием очень слабого в комбинационном рассеянии и инфракрасном поглощении оптического фонона на частоте  $\nu'$ , который сильно взаимодействует с фононом, наблюдаемым нами в рассеянии, в области пересечения их ветвей. В результате возникает энергетическая щель (снятие вырождения из-за резонансного взаимодействия) и обмен в интенсивностях света, рассеянного на сильном и слабом фононах.

В заключение авторы выражают благодарность А.М.Прохорову и Н.Н.Соболеву за поддержку работы и Г.Ф.Добржанскому за предоставление ориентированных образцов кристалла  $\alpha\text{-HfO}_3$ .

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
3 октября 1972 г.

#### Литература

- [ 1 ] В.Ф.Китаева, Л.А.Кулевский, Ю.Н.Поливанов, С.Н.Полужков.  
Письма в ЖЭТФ, 16, 23, 1972.
- [ 2 ] L.Couture, M.Krauzman, J.P.Mathieu. Acad. Sci., C.R., 269, B1278, 1969; Acad. Sci., C.R., 270, B1246, 1970.
-