

В. Г. ЗУБОВ, Л. П. ОСИПОВА

О ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ НА СПЕКТР ИНФРАКРАСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КВАРЦА В ОБЛАСТИ 3μ

Проведено сравнение оптической плотности полос поглощения ИК-спектров в области 3μ образцов кристаллического кварца, облученных различными дозами быстрых нейтронов ($0,4; 3,0; 3,5; 6,0 \cdot 10^{19}$ н/см²). Обнаружено насыщение полосы 3600 см^{-1} при воздействии на кварц интегрального потока порядка $0,4 \cdot 10^{19}$ н/см² и постепенное смещение максимума этой полосы в коротковолновую область с дальнейшим ростом дозы облучения. Обсуждается механизм поведения дефекта, ответственного за поглощение в области 3μ , при облучении α -кварца быстрыми нейтронами.

В спектре инфракрасного поглощения (ИК) кристаллического кварца в области 3μ наблюдается система полос, существование которой связывают с наличием в образцах дефектов. Интенсивность этих полос зависит от количественного содержания различных примесей и изменяется при термоэлектрической обработке кварца и при облучении радиацией [1—6].

В настоящей работе излагаются экспериментальные данные о воздействии облучения быстрыми нейтронами (с $E_n > 0,5$ Мэв) на спектр поглощения ИК в области 3μ ($3000\text{—}4000\text{ см}^{-1}$) при изменении потока нейтронов от $0,4 \cdot 10^{19}$ н/см² до $6,0 \cdot 10^{19}$ н/см² и приводится сопоставление полученных результатов с особенностями поведения дефектов, ответственных за эти полосы поглощения.

Описание эксперимента и его результаты

Запись спектров ИК-поглощения в области $3000\text{—}4000\text{ см}^{-1}$ производилась при комнатной температуре в неполяризованном свете с использованием автоматического двухлучевого спектрометра UR=20. Исследования проводились на толстых образцах, описание которых имеется в работах [7—8]. Все образцы облучались в одинаковых условиях и с каждым сопоставлялся контрольный образец необлученного кварца. Рассмотрим рисунок 1.

В ИК-спектре необлученного α -кварца наблюдаются максимумы шести разрешенных полос $3200, 3305, 3380, 3430, 3480$ и 3590 см^{-1} . Интенсивность этих полос зависит от ориентации образца по отношению к направлению наблюдения (см. кривые 1 и 2).

Воздействие на α -кварц потока быстрых нейтронов $0,4 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$ приводит к исчезновению максимума поглощения 3480 см^{-1} и общему ослаблению интенсивности остальных полос, кроме 3590 см^{-1} , интенсивность которой возрастает, а максимум смещается в сторону больших частот. Влияние трещины на интенсивность полос поглощения становится слабее.

Дальнейшее увеличение дозы облучения до $3,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$ приводит к исчезновению максимумов поглощения 3380 см^{-1} и 3430 см^{-1} и полному исчезновению влияния ориентации образца на интенсивность оставшихся полос.

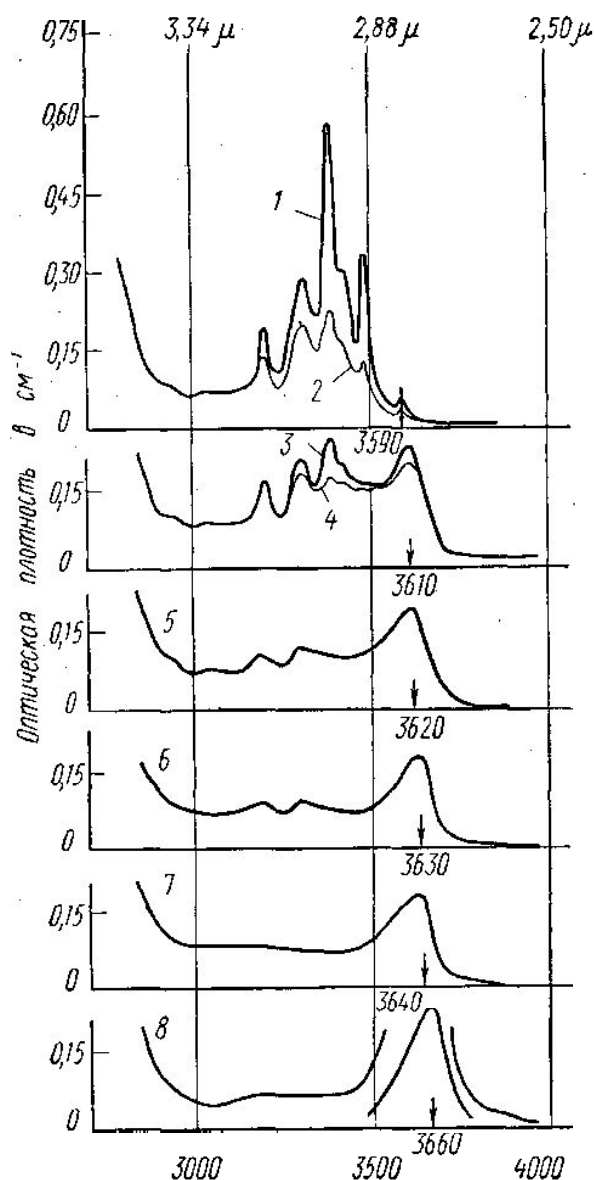
Спектр образца, облученного интегральным потоком быстрых нейтронов $6,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$, очень похож на спектр ИК поглощения необлученного плавленного кварца¹ (см. кривые 7 и 8 на рис. 1) и содержит лишь одну полосу поглощения с максимумом около 3640 см^{-1} .

При возрастании потока быстрых нейтронов от $0,4 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$ до $6,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$ оптическая плотность полосы поглощения $\sim 3600 \text{ см}^{-1}$ практически не изменяется (см. рис.), т. е. наблюдается насыщение этой полосы при воздействии на α -кварц потока порядка $0,4 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$. Максимум полосы поглощения 3590 см^{-1} с ростом дозы непрерывно смещается в сторону больших частот, приближаясь к положению этой полосы в спектре плавленного кварца.

Обсуждение результатов эксперимента

Согласно работам [1—6], в которых исследовались ИК-спектры поглощения природного и синтетического кварца, полосы поглощения в области 3μ связаны с существованием дефектов решетки не одного, а нескольких типов. На интенсивность этих полос влияет

¹ Оптическая плотность полосы 3660 см^{-1} в спектре плавленного кварца уменьшена в 4 раза. Различие интенсивности этой полосы в спектре плавленного кварца и кварца облученного потоком $6,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$ может быть связано с различным количественным содержанием гидроксильных групп в исследуемых образцах.



Сравнение оптической плотности поглощения в области 3μ в ИК-спектрах необлученного и облученного различными дозами быстрых нейтронов α -кварца: 1 и 2 — необлученный α -кварц (1 — с направлением наблюдения совпадает ось z , 2 — ось x), 3 и 4 — доза $0,4 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$ (3 — с направлением наблюдения совпадает ось z ; 4 — ось x), 5 — доза $3,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$, 6 — доза $3,5 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$, 7 — доза $6,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$, 8 — необлученный плавленный кварц

количественное содержание гидроксидов, алюминия, щелочных металлов и других структурных и неструктурных примесей в образцах кварца. Так, электролиз кварца в атмосфере азота приводит к исчезновению, а в атмосфере водорода к усилению полос 3380, 3430, 3480 и 3590 см^{-1} .

В работах [1—6] полосы поглощения 3380, 3430, 3480 и 3590 см^{-1} интерпретируются как проявление колебаний группы ОН, локализованной в дефектных участках структуры кварца. В частности, высказывается предположение о том, что полоса 3590 см^{-1} обусловлена колебаниями групп ОН, расположенных внутри аморфных микрообластей, присутствующих в кристаллическом кварце как примесь.

Воздействие быстрых нейтронов [5] приводит к исчезновению полос поглощения 3380, 3430 и 3480 см^{-1} и появлению более коротковолнового поглощения, напоминающего полосу поглощения групп ОН в спектре стеклообразного кварца.

Полученные нами экспериментальные данные, с одной стороны, подтверждают имеющиеся литературные данные [1—6] об общем характере изменения спектра ИК поглощения α -кварца при облучении нейтронами и, с другой стороны, позволяют получить сведения о связи интенсивности наблюдаемых полос с величиной потока быстрых нейтронов и провести сопоставление полученных результатов с особенностями поведения дефектов, ответственных за эти полосы поглощения.

Действительно, исчезновение полос 3380, 3430 и 3480 см^{-1} , обусловленных колебаниями групп ОН, локализованных в кристаллической матрице, и усиление полосы 3590 см^{-1} , аналогичной полосе, связанной с колебаниями групп ОН, расположенных внутри аморфного кварца, свидетельствуют о том, что с ростом дозы облучения число гидроксильных групп ОН, первоначально имевшихся в кристаллическом кварце, уменьшается, а число групп ОН в аморфной фазе данного облученного образца растет. Подобное изменение дефекта объясняется постепенной аморфизацией α -кварца при облучении его нейтронами [9—10].

Для объяснения обнаруженного нами насыщения полосы 3590 см^{-1} при воздействии на кристаллический кварц потока порядка $0,4 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$, которому соответствует лишь небольшая аморфизация образца ($\sim 1\%$ [10]), и качественной аналогии спектров ИК поглощения аморфного кварца и α -кварца, облученного потоком $6,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$, после воздействия которого на образец аморфизовано приблизительно лишь 35% [10] его объема, необходимо предположить, что на первой стадии облучения кристаллического кварца быстрыми нейтронами происходит преимущественная аморфизация образца вокруг атомов примесей, связь которых с атомами решетки слабее, чем связь атомов кремния и кислорода. Возможно, что величина потока быстрых нейтронов, соответствующего насыщению полосы 3590 см^{-1} , будет зависеть от количественного содержания различных примесей. Для выяснения этого вопроса необходим дополнительный эксперимент на облученных образцах, содержащих известное количество тех или иных примесей.

Облучение кристаллического кварца потоками больше потока соответствующего насыщению полосы 3590 см^{-1} (см. рис.) приводит к дальнейшему постепенному смещению максимума этой полосы к его положению в спектре плавленого кварца, что свидетельствует о непрерывном изменении силы связи групп гидроксидов с окружающими атомами.

Полосы поглощения 3200 и 3305 см^{-1} наблюдались нами во всех спектрах, кроме спектра плавленого кварца и α -кварца, облученного интегральным потоком быстрых нейтронов $6,0 \cdot 10^{19} \text{ н/см}^2$. Поэтому

можно предположить, что эти полосы поглощения скорее являются обертонами или комбинационными частотами основных колебаний решетки α -кварца [3], а не колебаниями групп ОН. Их исчезновение в спектре образца, облученного потоком $6,0 \cdot 10^{19}$ н/см², можно объяснить радиационным α — β -переходом, происходящим при воздействии на кварц этой дозы [11—12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Mitchell E. W., Rigden J. D. *Phil. Mag.*, **11**, 941, 1957.
2. Kats A., Haven G. *Phys. and Chem. glasses.*, **1**, 99—102, 1960.
3. Kats A. *Phil. Research Reports.*, **17**, 133—195; 201—279, 1962.
4. Wood D. L. *J. Chem. Solids.*, **13**, 326—336, 1960.
5. Häfele H. G. *Z. Phys.*, **160**, 420—430, 1960.
6. Крейскоп В. Н., Цинобер Л. И. «Тр. ВНИИ пьезооптического минерального сырья», **6**, 149—153, 1962.
7. Зубов В. Г., Кадышев Е. А., Осина Л. П., Штыркова А. П. «Кристаллография», **14**, 634—638, 1969.
8. Зубов В. Г., Осипова Л. П. «Кристаллография», **15**, 313—315, 1970.
9. Дикс Дж., Вийнард Дж. Радиационные эффекты в твердых телах. М., ИЛ, 1960.
10. Зубов В. Г., Иванов А. Т. «Кристаллография», **11**, 422—424, 1966.
11. Зубов В. Г., Осипова Л. П. *ДАН СССР*, **156**, 300—302, 1964.
12. Колонцова И. В., Телегина Н. В. *ДАН СССР*, **173**, 5, 1045, 1967.

Поступила в редакцию
3.6 1970 г.

Кафедра
общей физики для физиков