

систем так же, как влияние скорости нанесения пленки и температуры подложки. Получение наиболее плотных «чистых» слоев с максимально высоким коэффициентом преломления, упаковки и другими параметрами обусловлено несколькими факторами: глубоким вакуумом, скоростью нанесения и температурой подложки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bourg M., Philip R. «Le Vide», 1964, 227, 112.
2. Pulker H. K., Zamminger C. H. «Thin Solid. films.», 1970, 5, 421.
3. Honcia G., Krebs K. «Z. fur. Phys.», 1959, 156, 117.
4. Heitmann W., Ritter E. «Appl. Optics», 1968, 7, N 2, 307.
5. Heitmann W. «Thin Solid films», 1970, 5, N 1, 61.
6. Dell H. A. «Proc. Phys. Soc. sec.», 1949, B62, N 350B, 6.
7. Насман Д. «Optica Acta», 1970, 17, 659.
8. Розенберг Г. В. Оптика тонкослойных покрытий. М., 1958, с. 121.
9. Pulker H. K., Young E. «Thin solid films.», 1969, 4, N 3, 219.
10. Young P. A. «Thin solid films.», 1970, 6, N 6, 423.

Поступила в редакцию
1.11 1974 г.

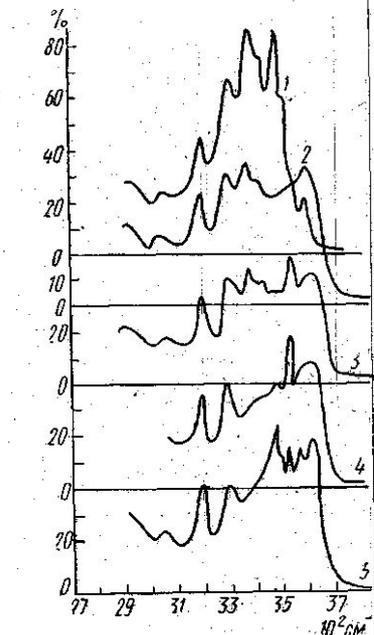
Кафедра оптики

УДК 669—409:539.16.04

В. Г. ЗУБОВ, Л. П. ОСИНОВА, Н. Д. КУНДИКОВА

ОТЖИГ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КВАРЦЕ, ОБЛУЧЕННОМ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

В инфракрасных спектрах поглощения α -кварца в области 3000 см^{-1} проявляются валентные колебания гидроксильных групп, различным образом расположенных в кристаллической решетке. Ион водорода главным образом связан с кислородом, принадлежащим «дефектному» тетраэдру, в котором Si^{4+} изоморфно замещен на Al^{3+} . При этом образуется $(\text{Al}(\text{OH}/\text{Me}))$ дефект [1]. Кислород кроме иона водорода может присоединить и ион щелочного металла [1—3]. В таком случае образуется $\text{Al}(\text{OH}/\text{Me})$ дефект [1]. От типа примеси зависит частота и интенсивность соответствующих полос. При увеличении атомного веса примеси частота валентных колебаний гидроксильных групп увеличивается [2, 4].



При облучении кварца ионизирующей радиацией и быстрыми нейтронами наблюдается изменение спектров поглощения [1, 4—7]. Основными причинами чувствительности спектров поглощения к облучению является радиационно-стимулированное движение примеси ионов щелочных металлов [1, 8] и аморфизация кристаллической матрицы [4, 7]. При нагревании облученных кристаллов до температуры 500°C [4]— 900°C [6] наблюдается восстановление спектров, измененных при облучении. Поскольку при увеличении температуры увеличивается скорость диффузии примесных ионов, процессы, происходящие при отжиге, так же должны быть связаны с движением примеси. В литературе, как правило, приводится лишь температура, при которой происходит полное восстановление интенсивности и структуры спектра поглощения в области 3000 см^{-1} [1, 4, 6] и не затрагивается вопрос об изменении спектра на промежуточных этапах.

В настоящей работе изучается влияние отжига при температуре 250 ; 300 и 400°C на спектры поглощения в области 3000 см^{-1} кварца, облученного интегральным потоком быстрых нейтронов $4 \times 10^{18} \text{ н/см}^2$.

Отжиг проводился по следующей методике. Образец со скоростью $0,5$ — 2°C в минуту нагревался до температуры отжига, при этой температуре образец выдерживался 3 — 5 ч и вновь

охлаждался до комнатной температуры. Выдерживание образца при температуре отжига проводилось до тех пор, пока не прекращалось изменение спектров поглощения в видимой области, т. е. до прекращения отжига при данной температуре.

На рисунке приведены спектры поглощения в инфракрасной области ($3000-4000 \text{ см}^{-1}$) необлученного кварца (1), [7]; кварца, облученного интегральным потоком $4 \times 10^{18} \text{ н/см}^2$ до отжига (2) [7], после отжига при 250°C (3), 300°C (4) и 400°C (5). Характерной особенностью влияния нейтронного облучения является появление полосы 3590 см^{-1} , которую связывают с валентными колебаниями гидроксильной группы расположенной в аморфном окружении [5]. В данном кристалле доля аморфизованных областей составляет 1% [7, 9].

Отжиг при температуре 250°C (в течение ~ 40 ч) привел к появлению полосы 3540 см^{-1} , которая практически отсутствовала как до облучения, так и после облучения. Полоса 3590 см^{-1} осталась неизменной.

После отжига при 300°C (в течение ~ 10 ч) интенсивность полосы 3540 см^{-1} несколько увеличилась. Следует особо обратить внимание на исчезновение полосы 3590 см^{-1} , интенсивность которой уменьшается при облучении. Совпадение влияния нагревания и облучения наблюдалось и при отжиге плотности и называется антиотжигом [10, 11]. Полоса 3380 см^{-1} является наиболее сильной в спектрах необлученных природных кварцев и связана с невозмущенными щелочью колебаниями гидроксильных групп [1]. При облучении интенсивность полосы уменьшается, вероятно, потому, что часть гидроксильных групп попадает в аморфизованные области. Наблюдаемое исчезновение полосы 3380 см^{-1} связано, по-видимому, с перераспределением Li в кристалле: в результате отжига ионы Li подходят к гидроксильным группам, расположенным в кристаллической матрице, и образуют конфигурацию Al(OH/Li) с соответственной частотой валентного колебания гидроксильной группы 3540 см^{-1} . После отжига при 300°C невозмущенные OH-колебания практически отсутствуют.

Отжиг при 400°C (~ 3 ч) приводит к дальнейшему перераспределению Li и появлению полосы 3490 см^{-1} , которая присутствует в необлученном кристалле, а интенсивность полосы 3540 см^{-1} уменьшается. Полоса 3380 см^{-1} практически отсутствует. Видоизменяется полоса 3590 см^{-1} , что, по-видимому свидетельствует о том, что происходит частичный отжиг структурных дефектов — аморфизованных областей. Появление структуры в области $3500 \text{ см}^{-1}-3600 \text{ см}^{-1}$, возможно, связано с тем, что при 400°C происходит движение не только ионов с малым радиусом Li, но и Na и K, которые имеют больший атомный вес и соответственно радиус [1].

Итак, проведенный эксперимент показал, что при температуре отжига 250 и 300°C происходит изменение полос поглощения, связанное с движением примеси Li и ее перераспределением в кристалле. Восстановление спектра начинается при 400°C с появления полосы 3490 см^{-1} . Следует отметить, что начало восстановления спектра совпадает с началом отжига структурных дефектов — аморфизованных областей. Как показано в работе [7], при облучении быстрыми нейтронами аморфизованные области возникают в первую очередь вокруг «дефектных» тетраэдров. Возникновение разупорядоченных областей приводит к разрушению структурных каналов, что препятствует движению ионов щелочных металлов. Частичный отжиг аморфизованных областей сопровождается частичным восстановлением структурных каналов, по которым ионы примеси могут подойти к соответствующей Al(OH) группе, и, следовательно, восстановлением спектра поглощения в области $3000 \text{ см}^{-1}-4000 \text{ см}^{-1}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлович М. И., Цинобер Л. И. и др. «Кристаллография», 1972, 17, 184.
2. Kats A. «Phil. Res. Rep.», 1962, 17, 201.
3. Kats A., Haven O. «Phys. chem. Glasses», 1960, 1, 99.
4. Dodd D. M., Fraser D. B. «Phys. chem. Solids.», 1965, 26, 673.
5. Mitchell E. W. J., Wood J. D. «Phil. Mag.», 1957, 2, 941.
6. Wood D. L. «J. Phys. chem. Solids.», 1960, 13, 326.
7. Зубов В. Г., Осипова Л. П. «Вестн. Моск. ун-та. Сер. III, физ., астроном.», 1971, 12, № 3.
8. Ченцова М., Цинобер Л. И. и др. «Кристаллография», 1972, 17, 379.
9. Зубов В. Г., Иванов А. Т. «Кристаллография», 1966, 11, 422—424.
10. Klemens P. G. «Phil. Mag.», 1956, N 10, 938.
11. Primmak W. «Phis. Rev.», 1958, 110, 1240.

Поступила в редакцию
23.4 1976 г.

Кафедра
общей физики для физиков