

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

07; 12

© 1992 г.

О НЕУДАРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ КВАРЦА

Ш. А. Вахидов, Ж. Д. Ибрагимов, О. Б. Хушваков, А. Д. Юлдашев

В [1, 2] сделано предположение, что в кристаллах квасца, облученных протонами, дейтронами и α -частицами, наряду с ударным механизмом реализуется и неударный механизм дефектообразования за счет коллективного распада двух или более взаимодействующих экситонов. Повышение дефектности структуры кристаллов, вызванное предварительным облучением, увеличивает эффективность образования дефектов.

Известно, что при облучении кристаллов протонами с надпороговой энергией в их треках образуются плотные электронные возбуждения. Облучение кристаллов электронами с подпороговой энергией также приводит к образованию электронных возбуждений. Повышение плотности тока пучка падающих частиц обуславливает увеличение числа электронных возбуждений в единице объема кристалла. Это приводит к увеличению вероятности взаимодействия электронных возбуждений между собой. Поэтому можно полагать, что если в кристаллах кварца дефекты образуются за счет взаимодействия электронных возбуждений между собой, то, как ШГК [3] и аморфном SiO_2 [4, 5], где простые электронные возбуждения приводят к образованию дефектов, с ростом плотности возбуждений должно наблюдаться увеличение числа дефектов структуры.

В данной работе для проверки этого предположения исследованы спектры поглощения (СП) и гамма-люминесценции (ГЛ) номинально чистых и с примесью Al, Fe кристаллов кварца, облученных разными флюенсами протонов с надпороговой энергией ($E_p = 18$ МэВ) и электронов с подпороговой энергией ($E_e = 100$ кэВ) при разных плотностях тока пучка. Исследованы также СП и ГЛ кристаллов, имеющих также СП и ГЛ кристаллов, имеющих различную степень дефектности структуры, вызванную предварительным облучением разными флюенсами нейтронов и протонов, после облучения их электронами с энергией 100 кэВ.

Для определения концентрации дорадиационных собственных и примесных дефектов структуры, проявляющих себя в виде центров окраски и люминесценции, кристаллы сначала облучены γ -лучами, поскольку под действием α -лучей создания дополнительных собственных дефектов в кварце вплоть до доз 10^{10} P [6].

Исследование СП номинально чистых кристаллов показывает, что под действием γ -лучей полосы поглощения в видимой области спектра не наводятся. Облучение кристаллов с примесью Al приводит к появлению полос 460 и 620 нм, обусловленных AlO_4 -центром [6]. В кристаллах SiO_2 с Fe появляются полосы с максимумами при 350 и 540 нм, возникающие за счет дефектов типа E_1' -центров [7]. Интенсивности полос 350, 460, 540 и 620 нм, как и в [6, 7], насыщаются при дозах $\sim 2 \cdot 10^6$ P.

Исследование ГЛ при 77 К показывает, что в номинально чистых и с примесью Al кристаллах наблюдается полоса 490 нм. Ее интенсивность не изменяется с повышением дозы γ -лучей. В спектре ГЛ кристаллов SiO_2 с Fe обнаружена полоса с максимумом при 470 нм. Увеличение дозы γ -лучей приводит к слабому росту ее интенсивности при дозах $> 10^9$.

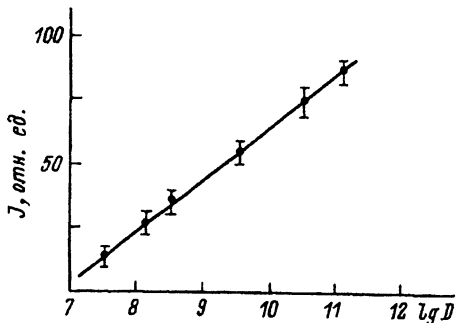


Рис. 1. Зависимость интенсивности полосы ГЛ 470 нм в кристаллах SiO_2 с Fe от поглощенной дозы протонов.

В кристаллах, облученных разными флюенсами протонов и электронов, наблюдается увеличение интенсивностей полос поглощения 350, 540 нм и люминесценции 470 нм с ростом флюенса облучения (рис. 1). Сравнение показывает, что при одинаковом флюенсе облучения интенсивности полос увеличиваются плотностью пучка протонов и электронов. Интенсивность полосы 490 нм, как и при действии пучка падающих частиц (рис. 2).

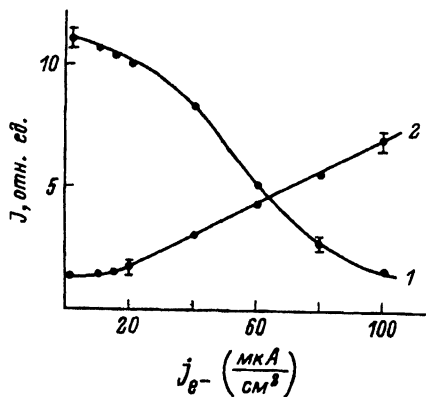


Рис. 2. Зависимость интенсивностей полос ГЛ 490 нм (1) в номинально чистых и 470 нм (2) в кристаллах SiO_2 с Fe, облученных флюенсом электронов 10^{16} см^{-2} , от плотности тока пучка.

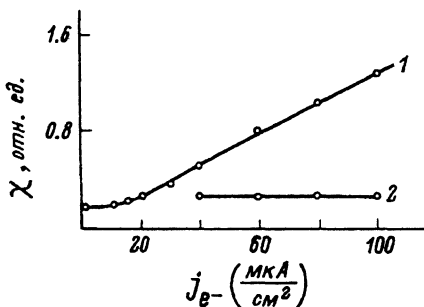


Рис. 3. Кинетика изменения оптической плотности в максимумах полос поглощения 215 (1) и 460 (2) в кристаллах SiO_2 с Al, облученных флюенсом электронов 10^{16} см^{-2} при различных плотностях тока пучка.

В СП номинально чистых и с примесью Al кристаллов наводятся полосы 215 и 215, 460, 620 нм соответственно. Согласно [9], полоса 215 нм обусловлена вакансией кислорода, захватившей электрон, т. е. E_1' -центром. Интенсивности полос поглощения 460 и 620 нм при флюенсах электронов 10^{16} см^{-2} выходят на насыщение, а интенсивность полосы 215 нм увеличивается с ростом флюенса облучения. Изучение зависимостей интенсивностей полос 215 и 460 нм в кристаллах, облученных флюенсом электронов 10^{16} см^{-2} , от плотностей тока пучка показывает, что интенсивность полосы 215 нм увеличивается с ростом плотности тока пучка, а интенсивность полосы 460 нм не изменяется (рис. 3).

В предварительно облученных кристаллах наблюдается дальнейшее увеличение интенсивности полос поглощения 215, 350, 540 нм и люминесценции 470 нм с ростом флюенса плотности пучка электронов. Скорость накопления центров окраски и люминесценции увеличивается с ростом дозы предварительного облучения.

Сравнительные исследования показывают, что в номинально чистых и с приме-

сями Al, Fe кристаллах, облученных флюенсом электронов 10^{16} см $^{-2}$ при разных плотностях тока пучка, появление поглощения начинается с 40 и 15 мкА/см 2 соответственно. В кристаллах SiO $_2$ с Al, Fe, предварительно облученных флюенсами протонов 10^{16} , 10^{17} см $^{-2}$, дальнейшее увеличение интенсивностей полос поглощения начинается с 2 мкА/см 2 .

Таким образом, образование одинаковых дефектов под действием облучений как протонов, так и электронов, увеличение их числа с ростом флюенса показывают, что в кристаллах кварца стабильные собственные дефекты структуры могут образовываться и неударным путем. Увеличение дефектов при одинаковом флюенсе облучения с ростом плотности тока пучка протонов и электронов свидетельствует о том, что дефекты образуются за счет взаимодействия электронных возбуждений между собой.

В настоящее время не установлено, какие процессы, возникающие при высоких плотностях электронных возбуждений, приводят к образованию стабильных дефектов в кристаллах кварца. Предполагается, что наблюдаемое при высоких плотностях возбуждения каскадное возбуждение автолокализованных экситонов может быть эффективным в создании дефектов [10].

Известно, что при низких плотностях электронных возбуждений в кристаллах кварца образуются нестабильные близлежащие пары Френкеля в виде E $_1$ '-центра и межузельного атома кислорода [10,11].

Концентрация пар Френкеля линейно увеличивается с ростом плотности [11]. В щелочно-земельных фторидах, где автолокализованные экситоны являются близлежащими парами Френкеля, каскадное возбуждение автолокализованных экситонов превращает их в пространственно разделенные пары [12]. Поскольку стабильность пар Френкеля увеличивается с ростом расстояния между ними, то полагаем, что образование стабильных дефектов в кварце также происходит за счет каскадного возбуждения автолокализованных экситонов. Увеличение числа дефектов с ростом плотности тока пучка протонов и электронов обусловлено повышением вероятности каскадного возбуждения автолокализованных экситонов. Повышение скорости накопления дефектов, уменьшение величины плотности тока пучка электронов, при которой наблюдается появление полос поглощения, с ростом дозы предварительного облучения и данные [2,5] дают основание считать, что эффективность неударного создания дефектов за счет каскадного возбуждения автолокализованных экситонов увеличивается с ростом степени дефектности структуры.

Список литературы

- [1] Вахидов Ш.А., Гасанов Э.М., Ибрагимов Ж.Д., Хушваков О.Б. // ДАН УзССР. 1988. № 4. С. 24–26
- [2] Вахидов Ш.А., Блинкова Г.Б., Ибрагимов Ж.Д. и др. // ДАН УзССР. 1990. № 5. С. 20–22.
- [3] Ritz V.H. // Phys. Rev. 1964. Vol. 133. N 5A. P. 1452–1470.
- [4] Griscom D.L. Radiaation effects in optical materials. Bellington, 1985. 38 p.
- [5] Tsai T.E., Griscom D.L., Frieble E.Y. // Phys. Rev. Lett. 1988. Vol. 61. N 4. P. 444–446.
- [6] Вахидов Ш.А., Гасанов Э.М., Самойлович М.И., Яркулов У. Радиационные эффекты в кварце.
- [7] Ченцова Л.Г., Цинобер Л.И., Самойлович М.И. // Кристаллография. 1966. Т. 11. № 2. С. 236–244.
- [8] Мустафакулов А.А. Автореф. канд. дис. Ташкент, 1990. 24 с.
- [9] Weeks R.A. // J. Appl. Phys. 1956. Vol. 27. № 11. P. 1376–1381.
- [10] Tanimura K., Itoh N. // Nucl. Instr. and Methods in Phys. Reseach. 1988. Vol. B 32. N 1–4. P. 211–215.
- [11] Tanimura K., Tanaka T., Itoh N. // Phys. Rev. Lett. 1983. Vol. 51. N 5. P. 423–426.
- [12] Itoh N., Tanimura K. // J. Phys. Chem. Sol. 1990. Vol. 51. N 7. P. 717–735.

Институт ядерной физики. Ташкент

Поступило в Редакцию

8 июля 1991 г.