

- [1] Yashimura K., Imai T., Shimizu T. et al. // J. Phys. Soc. Jap. 1989. V. 58. P. 3057—3060.
 [2] Tan Z., Budnick J. I., Zhang Y. D. et al. // Physica C. 1988. V. 156. P. 137—142.
 [3] Garcia M. E., Bennemann K. H. // Phys. Rev. B. 1989. V. 40. P. 8809—8813.
 [4] Kimball C. W., Matykiewicz J. L., Giapintzakis J. et al. // Physica C. 1987. V. 148. P. 309—311.
 [5] Giapintzakis J., Matykiewicz J., Kimball C. W. et al. // Phys. Lett. A. 1987. V. 121. P. 307—310.
 [6] Серегин П. П., Насрединов Ф. С., Мастеров В. Ф., Дарилбаева Г. Т. // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т. 51. N 11. С. 593—597.
 [7] Sternheimer R. M. // Phys. Rev. 1966. V. 146. P. 140—160.
 [8] Fuller G. H., Cohen V. W. // Nucl. Data A. 1969. V. 5. P. 433—467.
 [9] Dezsi I. et al. // Phys. Rev. B. 1989. V. 39. P. 6321—6324.
 [10] Yvon K., Francois M. // Z. Phys. B. 1989. V. 76. P. 413—444.

Ленинградский государственный
 технический университет
 Физико-технический институт
 им. А. Ф. Иоффе АН СССР
 Ленинград

Поступило в Редакцию
 2 января 1991 г.

УДК 537.533

© Физика твердого тела, том 33, № 6, 1991
 Solid State Physics, vol. 33, N 6, 1991

О РОЛИ ЭЛЕКТРОННЫХ И ДЫРОЧНЫХ ЦЕНТРОВ В ЭКЗОЭМИССИИ ОКСИДА МАГНИЯ

А. В. Монахов, В. С. Кортов, А. И. Слесарев

Термостимулированную экзоэлектронную эмиссию (ТСЭЭ) кристаллов MgO в температурном диапазоне 300—450 К обычно связывают с Оже-рекомбинационными переходами между зонными дырками и электронными центрами окраски [1, 2]. Однако авторы [3, 4] полагают, что в оксиде магния в указанном температурном интервале распадаются не только дырочные, но и электронные центры.

Целью настоящей работы является экспериментальное обоснование вклада дырочных и электронных центров захвата в ТСЭЭ оксида магния в интервале 300—400 К.

Поскольку энергии активации для делокализации носителей с электронных и дырочных центров в этом относительно нешироком температурном диапазоне могут быть близки, то измерения ТСЭЭ были проведены в режиме фракционного нагрева [5]. Параллельно исследовалась термостимулированная люминесценция (ТСЛ) кристаллов MgO. Экзоэмиссия и люминесценция регистрировались синхронно в вакууме 10^{-6} Па в камере экзоэмиссионного спектрометра [6]. Параметры фракционного нагрева: средняя скорость 0.03 К/с, приращения температуры внутри цикла 6 К, от цикла к циклу 2 К.

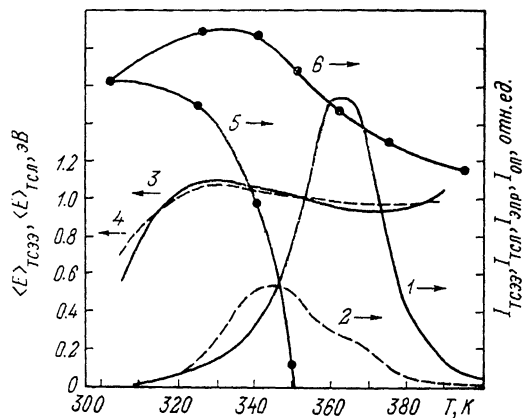
Исследуемые образцы выкалывались на воздухе из исходного монокристалла MgO, выращенного методом дуговой плавки, в виде пластин, плоскости которых параллельны главным осям. По данным химического анализа, кристаллы содержали примеси Al, Si, Ca, Fe, Cr, Mn, суммарная концентрация которых составляла ~0.8 вес.%. Непосредственно перед измерениями образцы отжигались в вакуумной камере установки до 570 К и после охлаждения возбуждались при комнатной температуре рентгеновским излучением (трубка БСВ-2, Со-анод, 35 кВ, 10 мА) в течение 5 ч.

Дополнительно исследовались изменения в спектрах ЭПР и оптического поглощения при изохронном отжиге рентгенизированных кристал-

лов. Спектры ЭПР регистрировались на радиоспектрометре РЭ-1301 при температуре 77 К, а спектры оптического поглощения — на спектрофотометре «SPECORD M40» при комнатной температуре.

Экспериментальные результаты приведены на рисунке. В температурном диапазоне 300—400 К наблюдаются максимумы ТСЭЭ и ТСЛ, причем температурные зависимости средних значений энергий активации $\langle E \rangle = f(T)$ этих процессов совпадают. На кривых $\langle E \rangle = f(T)$ можно выделить две стадии отжига: с $\langle E \rangle = 1.10$ эВ в интервале 320—350 К и с $\langle E \rangle = 0.95$ эВ при 350—380 К. Спектры ЭПР исследуемых образцов проявляют интенсивный аксиально-симметричный сигнал с $g_{\perp} = 2.0388$ и $\Delta H = 3.0$ Э, отжиг которого происходит в интервале 320—350 К. В спектрах оптического поглощения обнаруживаются максимумы при 217 и 285 нм, а также менее интенсивный максимум при 540 нм. Интенсивности максимумов 217 и 285 нм изменяются одинаковым образом в зависимости от температуры отжига — возрастают в интервале 320—350 К и уменьшаются в диапазоне 350—380 К. Полоса 540 нм исчезает одновременно с отжигом сигнала ЭПР.

Существование двух характерных участков на кривых $\langle E \rangle = f(T)$, отличаю-



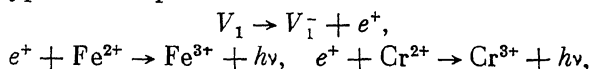
Температурные зависимости параметров релаксационных процессов в возбужденных рентгеновским излучением монокристаллах MgO.

1 — интенсивность экзоэмиссии; 2 — интенсивность люминесценции; 3, 4 — средние энергии активации ТСЭЭ и ТСЛ соответственно; 5 — интенсивность сигнала ЭПР; 6 — оптическое поглощение

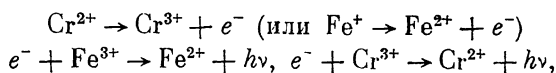
щихся значениями энергии активации, свидетельствует о том, что термоактивационные процессы в температурных интервалах 320—350 и 350—380 К инициируются центрами захвата различной природы. Согласно литературным данным, наблюдаемые у исследуемых монокристаллов MgO сигнал ЭПР с $g_{\perp} = 2.0388$ и полоса оптического поглощения при 540 нм принадлежат дырочным центрам V-типа [7]. Поскольку дырочные центры разрушаются в диапазоне 320—350 К, а максимальная интенсивность эмиссии соответствует области температур 350—380 К, то правомерно допустить, что ТСЭЭ и ТСЛ оксида магния в температурном интервале 320—350 К обусловлены разрушением дырочных, а в области 350—380 К вызваны распадом электронных центров захвата. Это предположение подтверждается температурной зависимостью интенсивности максимумов оптического поглощения при 217 и 285 нм, которые связаны с электронными переходами в примесных ионах Fe^{3+} [8]. В оксиде магния ионы железа находятся преимущественно в состояниях Fe^{2+} и Fe^{3+} . Увеличение концентрации ионов Fe^{3+} в температурном диапазоне делокализации дырок 320—350 К происходит в результате процессов $Fe^{2+} + e^+ \rightarrow Fe^{3+}$. В температурном интервале 350—380 К, где освобождаются электроны, протекают реакции вида $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$, что ведет к уменьшению концентрации ионов Fe^{3+} .

Совпадение энергий активации ТСЭЭ и ТСЛ у исследуемых монокристаллов MgO указывает на то, что за эмиссию и люминесценцию ответственны центры захвата одного типа. Используя данные работ [1-4], термоактивационные процессы в исследуемых образцах можно представить следующим образом:

в температурном интервале 320—350 К



в температурном интервале 350—380 К



где символ V_1 означает совокупность дырочных центров (например, $V_{\text{OH}}, V_{\text{Si}}, V_{\text{F}}, V_{\text{Cl}}$), термоионизирующихся в области 320—350 К.

Результаты исследований ТСЭЭ и ТСЛ кристаллов MgO в режиме фракционного нагрева с привлечением параллельных методик позволяют сделать вывод о том, что экзоэлектронная эмиссия оксида магния является дырочно-стимулированной лишь на начальных стадиях (320—350 К) широкого максимума ТСЭЭ, наблюдаемого в температурном диапазоне 300—400 К. Эмиссия при температурах 350—380 К инициируется электронами, освобождающимися с примесных центров захвата.

Список литературы

- [1] Mollenkopf H. C., Halliburton L. E., Kohnke E. E. // Phys. Stat. Sol. (a). 1973. V. 19. N 1. P. 243—250.
- [2] Кярнер Т. Н., Соркин Б. А. // ФТТ. 1978. Т. 20. № 9. С. 2696—2699.
- [3] Wertz J. E., Coffman R. E. // J. Appl. Phys. 1965. V. 36. N 9. P. 2959—2961.
- [4] Clement S., Hodgson E. R. // Phys. Rev. B. 1984. V. 30. N 8. P. 4684—4688.
- [5] Gobrecht H., Hofmann D. // J. Phys. Chem. Sol. 1966. V. 27. N 3. P. 509—522.
- [6] Кирпа В. И., Кузьминых А. С., Попов В. В. // Радиационно-стимулированные явления в твердых телах: Межвуз. сб. Свердловск, 1983. № 5. С. 33—38.
- [7] Henderson B., Wertz J. E. Defects in the Alkaline Earth Oxides with applications to Radiation Damage and Catalysis. London, 1977. 159 p.
- [8] Modine F. A., Sonder E., Weeks R. A. // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 8. P. 3514—3518.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило в Редакцию
18 января 1991 г.