

		$S, \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$	$\alpha, \frac{1}{\text{Ом}\cdot\text{см}}$	$R_x \cdot 10^3, \frac{\text{см}^3}{\text{Кл}}$ ($N, \text{см}^{-3}$)	$\omega_p, \text{см}^{-1}$	$\tau \cdot 10^{14}, \text{с}$	$\frac{m^*}{m_e}$
CrSi ₂	⊥ C	106	2500	7.5—7.6	1350	0.9—1.0	1.0—1.1
	∥ C	60	1300	(10 ²¹)	802	2.0—2.2	3—4
CrSi ₂ <Al>	⊥ C	86	5200	4.2—4.6	2360	0.7—1.0	0.6—1.0
	∥ C	32	2000	(1.7·10 ²¹)	1190	0.9—1.2	2.6—3.1
CrSi ₂ <Cu>	⊥ C	71	4400	3.9—4.3	2480	0.5—0.7	0.6—0.9
	∥ C	25	1230	(1.8·10 ²¹)	1303	0.6—0.7	1.8—2.6

того, чтобы сделать вывод о том, отличаются ли зависимости энергии от волнового вектора вдоль разных кристаллографических осей.

Список литературы

- [1] Воронов Б. К., Дудкин Л. Д., Трусова Н. Н. // Кристаллография. 1967. Т. 12. № 3. С. 519—521.
- [2] Кайданов В. И., Целищев В. А., Усов А. П., Дудкин Л. Д., Воронов Б. К., Трусова Н. Н. // ФТП. 1970. Т. 4. № 7. С. 1338—1345.
- [3] Зайцев В. К., Федоров М. И., Тарасов В. И., Адилбеков А. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 6. С. 1707—1710.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
17 декабря 1991 г.

© Физика твердого тела, том 34, № 5, 1992
Solid State Physics, vol. 34, N 5, 1992

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ
В SrTiO₃

Н. Н. Лебедева

В работе исследуется влияние восстановления и облучения быстрыми электронами (4 МэВ) на свойства SrTiO₃. В качестве исходных использовались нарезанные из одной були пластинки, ориентированные вдоль [110]. Сопротивление исходных образцов $\rho = 10^{11}$ Ом·см, область прозрачности при $\lambda > 0.39$ мкм. Образцы облучались дозами $\Phi = 5 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{17}$ эл/см² при 300 К. Восстановление проводилось в вакууме 10⁻⁵ мм рт. ст. при 1100 °С от 10 до 120 мин. Окислительный отжиг восстановленных и облученных кристаллов проводился на воздухе в интервале 50—700 °С изохронно (30 мин). Влияние восстановления на ρ , коэффициент поглощения (α) и фотолюминесценцию (ФЛ) рассмотрены нами в [1, 2].

При облучении ρ и α оставались неизменными. Изменялись они только при восстановлении, и характер этих изменений совпадает с описанным в литературе [3, 4]: ρ уменьшается в 10⁴—10⁹ раз, а в спектре поглощения появляются полосы при 2.9, 2.4, 2.1 эВ. На образцах с разной степенью восстановления рентгенограммы показали искажение кубической решетки, обусловленное потерей кислорода

рис. 1. Спектры излучения и возбуждения ФЛ в SrTiO_3 .

1, 2 и 3, 4 — исходный, 5 и 6 — восстановленный, 8, 9 и 7, 10 — облученный.

($\text{SrTiO}_{2.5}$). Магнитная восприимчивость возрастает от 2.93 в исходном до $3.42 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС в сильно восстановленном образце.

ФЛ при восстановлении и облучении претерпевала различные изменения. На рис. 1 приведены спектры излучения и возбуждения ФЛ в исходном, восстановленном и облученном кристалле. В исходном наблюдались две полосы ФЛ, известные из литературы как решеточная ФЛ (видимая полоса) и излучение Cr^{3+} , входящего в решетку как неконтролируемая примесь (ИК-полоса). Обе полосы ФЛ обусловлены возбуждением октаэдра TiO_6 [5, 6]. Для ИК полосы характерно полное ее тушение при самой слабой степени восстановления;

интенсивность видимой полосы ФЛ растет. После облучения интенсивность видимой полосы уменьшается с ростом Φ до 40 раз, а максимум спектра возбуждения смещается от 3.35 до 3.54 эВ. Спектр возбуждения ИК полосы после облучения также изменяется: растет интенсивность в максимуме полосы при возбуждении в коротковолновой части спектра возбуждения.

Известно, что для разрушения дефектов, наведенных в SrTiO_3 при восстановлении, используется окислительный отжиг [7]. Для получения информации о природе дефектов, мы провели окислительный отжиг, результаты которого представлены рис. 2. Обозначим через $\Delta\alpha$, $\Delta I_{\text{ФЛ}}$, $\Delta\rho$ — изменения (по отношению к исходному) α при 2.9 эВ, интенсивности ИК и видимой полосы ФЛ и ρ , наступившие в результате восстановления или облучения. Примем эти значения за максимальные. Подвергнув такие кристаллы окислительному отжигу при температуре отжига T_0 , возвращаем их в условия, где измерялись α , $I_{\text{ФЛ}}$, ρ , определяем новые значения $\Delta\alpha$, $\Delta I_{\text{ФЛ}}$ и $\Delta\rho$ и откладываем их на графике как соответствующие температуре отжига T_0 . Уменьшение их означает восстановление исходных свойств, т. е. разрушение дефектов. Из рис. 2 видно, что отжиг при $T_0 < 150^\circ\text{C}$ ни один из параметров не изменяет; с ростом T_0 от 150 до 300°C сводятся к нулю изменения в свойствах, которые произошли при восстановлении — $\Delta\alpha$, $\Delta I_{\text{ФЛ}}$ для ИК полосы и $\Delta\rho$ — кривые 1—3 соответственно. Важно отметить, что дефекты, ответственные за окраску ($\Delta\alpha$) и тушение ИК полосы ($\Delta I_{\text{ФЛ}}$),

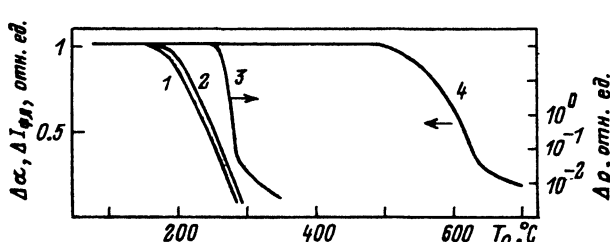


Рис. 2. Отжиг дефектов, наведенных восстановлением (1—3) и облучением (4).

Зависимости изменений: 1 — коэффициента поглощения при 2.9 эВ ($\Delta\alpha$), 2 — интенсивности ИК полосы ФЛ ($\Delta I_{\text{ФЛ}}$), 3 — сопротивления ($\Delta\rho$), 4 — интенсивности видимой полосы ФЛ ($\Delta I_{\text{ФЛ}}$) от температуры окислительного отжига.

отжигаются синхронно (кривые 1, 2), а дефекты, вызывающие изменение ρ , отжигаются при более высокой T_0 (кривая 3). Это может свидетельствовать об образовании при восстановлении как минимум двух типов дефектов и об идентичности дефектов, вызывающих окраску кристаллов и тушение ИК полосы ФЛ. Кривая 4 характеризует процесс отжига радиационных дефектов, подавляющих излучение в видимой полосе ФЛ. Для разрушения этих дефектов требуются значительно большие энергии. Природа дефектов в восстановленном SrTiO_3 широко обсуждается в литературе. Это дефекты типа Ti^{3+} [8, 9], Fe^{4+} и Fe^{3+} в комплексе с кислородной вакансией [10], вакансии кислорода, образующие мелкие доноры [3, 11], поляронные состояния [12], центры окраски [13]. При нейтронном облучении образуется дефект Ti^{3+} на месте Sr^{2+} [14].

Из сложившихся представлений о природе дефектов в SrTiO_3 и наших результатов можно делать следующие предположения. В исходных кристаллах отличная от нуля магнитная восприимчивость говорит о наличии магнитных ионов. Ими могут быть собственный дефект Ti^{3+} или Fe^{3+} и Cr^{3+} , замещающие Ti^{4+} . При восстановлении образцов Fe^{3+} переходит в Fe^{4+} , который является центром окраски в полосе 2.9 эВ и центром тушения ИК полосы ФЛ, перезахватывающим поток дырок, необходимый для возбуждения Cr^{3+} . За изменение ρ ответственны кислородные вакансии, обусловленные потерей кислорода при нагревании в вакууме, образующие донорные состояния.

В облученных кристаллах создаются точечные дефекты в результате выхода из узлов регулярных атомов. В октаэдре TiO_6 , где возбуждается ФЛ, облучение электронами, вероятно всего, подействует на наиболее легкий ион кислорода. Дефект по кислороду деформирует октаэдр, что может сказаться и на энергии возбуждения, и на эффективности излучательного перехода в нем. Поскольку излучение в видимой и ИК полосах — процессы конкурирующие, то уменьшение интенсивности в видимой полосе приводит к росту излучения в ИК полосе.

Список литературы

- [1] Lebedeva N. N., Arushanov A. G., Pokasova N. S., Gadgiev M. S. // *Ferroelectrics*. 1988. V. 83. P. 141—145.
- [2] Lebedeva N. N., Arushanov A. G., Zeynally A. Kh. // *Phys. B*. 1989. V. 154. P. 209—213.
- [3] Frederikse P. H. // *Phys. Rev. A*. 1964. V. 134. N 2. P. A442—A445.
- [4] Wild R. L. // *Phys. Rev. B*. 1973. V. 13. N 8. P. 3828—3835.
- [5] Blasse G. // *Mat. Res. Bull.* 1963. V. 18. P. 525—528.
- [6] Feng T. // *Phys. Rev.* 1982. V. 25. N 2. P. 629.
- [7] Gandy H. H. // *Phys. Rev.* 1959. V. 113. N 3. P. 795—800.
- [8] Van Engelen P. P. // *Phys. Lett. A*. 1967. N 25. P. 733.
- [9] Кулагин Н. А., Литвинов Л. А. // *УФЖ*. 1981. Т. 26. С. 309.
- [10] Faughnan B. W. // *Phys. Rev. B*. 1976. N 4. P. 3623.
- [11] Morin E. J. // *Phys. Rev. B*. 1973. V. 8. N 12. P. 5847—5854.
- [12] Selme M. O., Pecheur P. J. // *J. Phys. C*. 1983. N 16. P. 2559.
- [13] Baer W. S. // *Phys. Rev.* 1966. V. 144. P. 734.
- [14] Schirmer O. F., Muller K. A. // *Phys. Rev. B*. 1973. V. 7. P. 2986.

Бакинский
государственный университет

Поступило в Редакцию
22 февраля 1991 г.
В окончательной редакции
18 декабря 1991 г.