

частичного туннелирования дает щель порядка 10^{-2} К, что много меньше kT .

Таким образом, данные электрофизических измерений не противоречат модели образования ВЗП. Полученные ВАХ указывают на наличие коллективных эффектов в электронном транспорте, связанных с движением волны зарядовой плотности. Определены области локализации электронов до и после перехода. Полупроводниковый характер проводимости и большая величина области локализации электронов при высоких температурах позволяют отнести это соединение к металлам с сильным электрон-фононным взаимодействием [6].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Фотиев А. А., Волков В. Л., Капусткин В. К. Оксидные ванадиевые бронзы. М.: Наука, 1978. 175 с.
- [2] Wadsley A. D. // Acta Cryst. 1955. N 8. P. 695—700.
- [3] Kanai Y., Kagoshima S., Nagasawa H. // Syntetic Metals. 1984. N 9. P. 369—379.
- [4] Дмитриев А. В., Панченко В. Л., Золотухина Л. В., Новак П. Я. // ФТТ. 1987. Т. 29. N 11. С. 3381—3384.
- [5] Onoda M., Nagasawa H. // J. Phys. Soc. Jap. 1983. V. 52. N 6. P. 2231—2237.
- [6] Gogolin A. A. // Phys. Reports. 1982. N 1. P. 1—53.

Институт химии УрО АН СССР
Свердловск

Поступило в Редакцию
27 марта 1990 г.

УДК 538.975+537.543.9

© Физика твердого тела, том 32, № 11, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 11, 1990

СТРУКТУРНОЕ И МАГНИТНОЕ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЕ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ФТОРА

*Б. К. Остафийчук, В. Д. Федорив, В. А. Олейник,
Е. И. Зубко, О. Н. Ворончак*

В результате ионной имплантации (ИИ) в приповерхностном слое феррит-гранатовой пленки (ФГП) происходят нарушение кристаллической структуры, изменение стехиометрии и химической связи [1], что в итоге влияет на электромагнитные параметры не только имплантированного слоя, но и пленки в целом. Характер и величина указанных изменений существенным образом зависят от энергии, дозы и типа внедренных ионов.

Для изыскания возможности целенаправленной модификации физико-химических свойств приповерхностных слоев ФГП были проведены комплексные исследования влияния дозы имплантированных ионов фтора на кристаллическую и магнитную микроструктуры. ФГП толщиной 3.5 мкм были выращены методом жидкофазной эпитаксии на монокристалле $Gd_3Ga_5O_{12}$ с кристаллографической плоскостью среза [111]. Образцы, вырезанные из одной ФГП состава $Y_{1.76}Lu_{0.25}Sm_{0.17}Ca_{0.78}Pb_{0.04} \times \times Fe_{4.24}Ge_{0.76}O_{12}$, имплантировались ионами фтора с энергиями 95 кэВ в пределах доз $2 \cdot 10^{14}$ — $1 \cdot 10^{15}$ см⁻² на установке типа «Везувий» при комнатной температуре в геометрии, исключающей каналирование. Наличие свинца обусловлено его технологически неконтролируемым вхождением в матрицу пленки во время жидкофазной эпитаксии. Методики получения и обработки рентгеновских дифракционных и мессбауэровских конверсионных спектров, а также спектров резерфордского обратного рассеивания (РОР) ионов описаны в работах [2, 3] соответственно.

Рентгеноструктурные измерения показали, что постоянная решетки исходной пленки равна $a=12.3729$ Å. После ИИ фтором постоянная решетки в имплантированном слое возрастает и ее максимальное увеличение

составляет $\Delta a/a = 1.5\%$ для дозы $2 \cdot 10^{14}$ см⁻², в то время как для более высоких доз имплантированный слой становится рентгеноаморфным. Однако из рис. 1 видно, что в конверсионных электронных мессбауэровских спектрах (КЭМС) железа, полученных от имплантированных ФГП, проявляются два секстиплета, соответствующие магнитоупорядоченному состоянию ионов железа в окта- и тетраподрешетках [2]. Из того факта, что их интенсивность постепенно уменьшается с ростом дозы внедренных ионов, в то время как интенсивность парамагнитного дублета возрастает, можно предположить, что степень структурного и магнитного разупорядочения меняется по глубине имплантированного слоя. Данные предположения хорошо согласуются с результатами РОР, математического моделирования процессов ИИ и с изменением поля коллапса ЦМД.

На рис. 2 представлен типичный экспериментальный профиль кон-

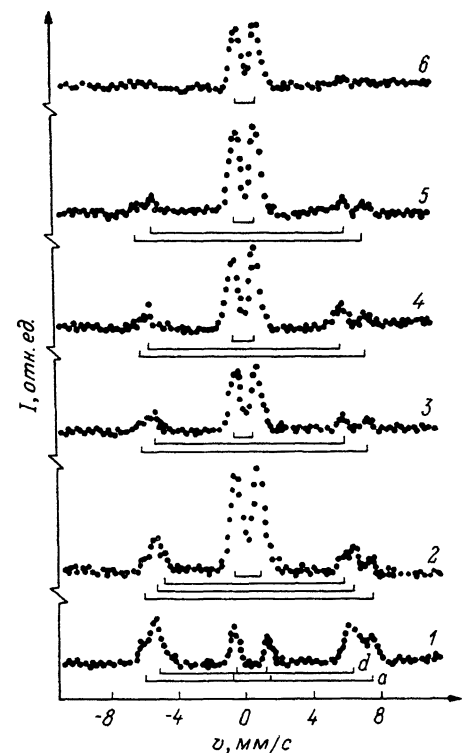


Рис. 1. КЭМС железа, полученные от исходной (1) пленки $Y_{1.76}Lu_{0.25}Sm_{0.17}Ca_{0.78} \times Pb_{0.04}Fe_{4.24}Ge_{0.76}O_{12}$ и от пленки, имплантированной ионами F с энергией 95 кэВ и дозами $2 \cdot 10^{14}$ (2), $4 \cdot 10^{14}$ (3), $6 \cdot 10^{14}$ (4), $8 \cdot 10^{14}$ (5) и $1 \cdot 10^{15}$ см⁻² (6).

центрации внедренного фтора, полученный путем измерения выхода гамма-квантов из реакции $^{19}F(p, \alpha\gamma)^{16}O$ в области резонанса $E_p = 872$ кэВ, и теоретический, рассчитанный методом Монте-Карло по алгоритму,

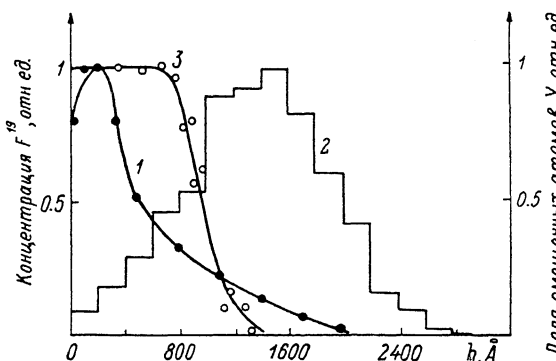


Рис. 2. Экспериментальный (1) и теоретический (2) профили концентрации фтора, имплантированного в монокристаллическую пленку $Y_{1.76}Lu_{0.25}Sm_{0.17}Ca_{0.78}Pb_{0.04} \cdot Fe_{4.24}Ge_{0.76}O_{12}$ с энергией 95 кэВ и дозой $4 \cdot 10^{14}$ см⁻², и профиль ионно-индуцированных дефектов (3) в подрешетке иттрия.

предложенному в работе [4], а также профиль дефектов по додекаэдрической подрешетке для дозы $4 \cdot 10^{14}$ см⁻². Профиль дефектов в подрешетке иттрия определялся по методике, описанной в [5]. Из рис. 2 видно, что максимум профиля лежит очень близко к поверхности ≈ 180 Å, в то время как длинный пологий «хвост» тянется до глубин порядка ≈ 2000 Å. Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные разрушения

в катионной подрешетке наблюдаются до глубин $\approx 900 \text{ \AA}$, что намного превышает глубину расположения максимальной концентрации внедренного фтора. Известно [6], что профиль концентрации имплантированного иона лежит глубже, чем профиль первичных радиационных дефектов. Наблюдаемое взаимное положение профилей концентрации и дефектов становится понятным при их сопоставлении с расчетным профилем концентрации. Из рис. 2 видно, что рассчитанный теоретически профиль, характеризующийся средней длиной проективного пробега ионов фтора $R_p = 1287 \text{ \AA}$ и дисперсией $\Delta R_p = 559 \text{ \AA}$, лежит глубже экспериментальных профилей дефектов и концентраций фтора. Что касается местоположения экспериментального максимума концентрации фтора, то в пределах ошибки эксперимента ($\pm 50 \text{ \AA}$) он не смещается с возрастанием дозы внедренных ионов в исследованных пределах доз.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что во время ионной имплантации фтор теряет энергию при столкновениях с атомами мишени, образуя при этом каскад дефектов и профиль легирования, характеризуемый параметрами, приведенными выше. Степень нарушения кристаллической структуры в имплантированном слое ФГП весьма значительна уже при дозах $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ как по анионной, так и катионной подрешетках. При этом наблюдается в приповерхностном слое зарождение аморфной фазы, что находит также отображение в возрастании интенсивностей центрального дублета КЭМС железа. Ввиду высокой дефектности имплантированного слоя, особенно в анионной подрешетке [7], в системе, по-видимому, происходит диффузия фтора к поверхности по вакансионному механизму, что формирует профиль концентрации фтора, полученный на эксперименте. В пользу данного вывода свидетельствует измеренная экспериментально протяженная пологая ветвь профиля имплантации фтора и результаты монте-карловского моделирования.

Однозначное определение местоположения внедренного фтора в кристаллической решетке в настоящем случае затруднено, поскольку расположение максимума его концентрации находится вблизи поверхности, т. е. в зоне сильных радиационных повреждений. Однако сравнение интенсивности сигнала от фтора в режиме каналирования и разориентации позволяет предположить, что после ионной имплантации и последующей диффузии внедренный фтор располагается хаотически по объему решетки. Интересно, что, согласно данным работы [8], при введении фтора в процессе синтеза ферритов со структурой граната он занимает узлы анионной подрешетки.

Авторы искренне благодарны В. Г. Барьяхтару и В. В. Неможкаленко за интерес к работе и плодотворные обсуждения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Неможкаленко В. В., Остафийчук Б. К., Пыльцев В. М., Сенкевич А. И., Федорив В. Д., Торчун М. М. // ДАН УССР. 1988. N 6. С. 45—48.
- [2] Остафийчук Б. К., Пыльцев В. М., Шевчук П. И., Федорив В. Д., Петров В. Е. // Металлофизика. 1987. Т. 9. N 4. С. 75—78.
- [3] Скакун Н. А., Дикий Н. П., Матяш П. Г., Страшинский А. Г. // ПТЭ. N 4. С. 49—50.
- [4] Sielanko J. // Rad. Eff. Lett. 1984. V. 86 (5). P. 185—190.
- [5] Ziegler J. F. // J. Appl. Phys. 1972. V. 43. N 7. P. 2973—2981.
- [6] Battistiy G., Kennedy E. F., Revesz P., Gyulai J., Kadar G., Gyimesi J., Drozdy G., Vizkelethy G. // Nucl. Instrum. and Meth. 1986. V. B15. P. 372—374.
- [7] Неможкаленко В. В., Остафийчук Б. К., Олейник В. А., Федорив В. Д., Гринченко А. Ю., Скакун Н. А. // ФТТ. 1990. Т. 32. N 3. С. 707—713.
- [8] Morell A., Tanguy V., Menil F., Portier J. // J. Sol. St. Chem. 1973. V. 8. N 3. P. 253—259.