

# ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ C, N и Mn ПЛЕНОК MgO

В.А. Доросинец<sup>1)</sup>, I.A. Dobrinets<sup>2)</sup>, A. Wieck<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь, e-mail: dorosinets@bsu.by

<sup>2)</sup>Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150,  
D-44780 Bochum, Germany, e-mail: andreas.wieck@ruhr-uni-bochum.de

Исследовались спектральные зависимости оптического поглощения и комбинационного рассеяния света пленок MgO, имплантированных ионами C, N и Mn. Сделан вывод о модификации поверхностных свойств пленок при имплантации и существенной зависимости механизмов дефектообразования от типа ионов и режима отжига.

## Введение

Обнаружение ферромагнетизма в наночастицах немагнитных материалов, обусловленного предположительно катионными вакансиями, вызвал всплеск теоретических и экспериментальных исследований, поскольку открывает перспективу создания элементной базы спинтроники [1, 2]. Было обнаружено, что пленки широкозонных оксидов, в частности MgO, также проявляют ферромагнетизм при легировании ионами N и C [3-5], Al [6] и даже в отсутствии легирования [6]. В настоящее время отсутствует полное понимание механизма этого типа магнетизма, получившего специальное обозначение  $d^0$ -магнетизм, чтобы подчеркнуть отсутствие связи с не полностью заполненными d-орбиталями. Интерес к MgO обусловлен также тем, что он обладает широкой запрещенной зоной (~7.8 эВ), что исключает возможность электронно-стимулированного магнитного взаимодействия, используется в качестве в качестве барьерного слоя в магнитных туннельных элементов и является радиационно-стойким. В тоже время имеется лишь незначительное число работ, в которых для MgO исследовалась ионная имплантация, образование и отжиг дефектов, взаимодействие имплантированных ионов с точечными дефектами, и его влияния на проявления магнитных свойств материалов.

## Основная часть

В данной работе исследовались оптические свойства имплантированных ионами C, N, Mn (энергия ионов 100 кэВ, доза  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>) образцов, вырезанных из монокристаллических подложек MgO(100), толщиной 0,5 мм размером 3x5 мм. Согласно расчетам с использованием SRIM имплантированный слой располагался на глубине 50-150 нм. После имплантации часть образцов отжигалась при температуре 900 °С на воздухе в течение 30 мин. Измерение спектров оптического поглощения (190 -1100 нм) проводилось на спектрофотометре PROSKAN MS-122, а спектров комбинационного рассеяния света (КРС) (диапазон 100-2500 см<sup>-1</sup>) проводились на спектрометре Nanofinder HE (LotisTIII – Tokyo Instruments) с возбуждением лазером с длиной волны 488 нм. Интенсивность возбуждения поддерживалась постоянной и равной 8 мВт.

На рис. 1 представлены спектры пропускания имплантированных неотожженных пленок MgO. На кривой 3, соответствующей имплантации ио-

нами Mn, особенности отсутствуют, в то время как для имплантации углеродом характерны три полосы поглощения (250, 355 и 573 нм). Полоса с максимумом при 250 нм, по-видимому, образована наложением двух близкорасположенных полос 252 и 247,5 нм, соответствующих кислородным вакансиям с одним и двумя захваченными электронами (F<sup>+</sup> и F центрами), соответственно. Полосу с максимумом при 355 нм можно связать с нейтральной анионной вакансией (F<sub>2</sub>-центр). Полоса с максимумом при 573 нм не может быть приписана ни одному известному точечному дефекту в MgO и, предположительно, обусловлена агрегатами дефектов. В работе [7] предполагалось, что такая полоса может быть обусловлена комплексами V<sup>-</sup> (O<sup>-</sup> - V<sub>c</sub>), V<sub>F</sub> (O<sup>-</sup> - V<sub>c</sub> - F<sup>-</sup>), VO (O<sup>-</sup> - V<sub>c</sub> - O<sup>-</sup>), VON (O<sup>-</sup> - V<sub>c</sub> - OH<sup>-</sup>), имеющими согласно расчету близкие значения. В то же время в области больших длин волн пропускание увеличивается. При имплантации ионами N обнаруживается лишь полоса с максимумом при 573 нм, а полосы соответствующие точечным дефектам отсутствуют.

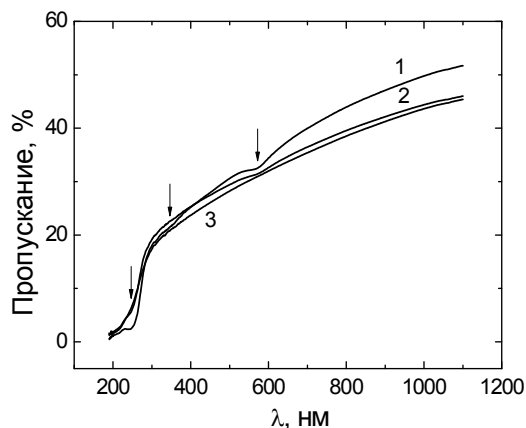


Рис. 1. Спектральная зависимость пропускания пленок MgO после имплантации ионами C, N и Mn (кривые 1, 2 и 3, соответственно)

Отжиг на воздухе при температуре 900 °С приводит к исчезновению полос поглощения как для образцов MgO(C) так и для образцов MgO(N). В то же время в спектрах пропускания MgO(C) появляется полоса поглощения при 270 нм, которая может быть обусловлена агрегатом дефектов неизвестной природы (рис. 2). За исключением этой особенности все кривые оптического пропускания

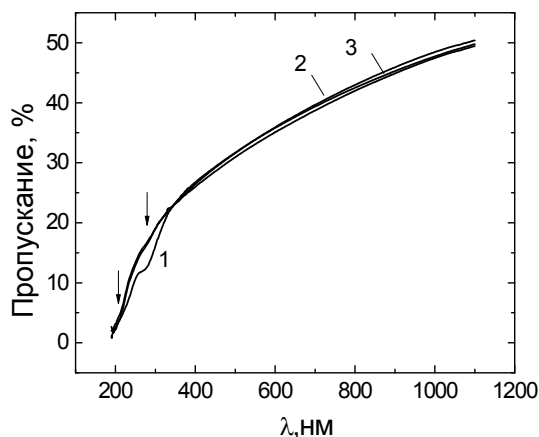


Рис. 2. Спектральная зависимость пропускания пленок MgO, имплантированных ионами С, N и Mn (кривые 1, 2 и 3), после отжига

кания практически полностью совпадают, что может свидетельствовать об отжиге точечных дефектов и части дефектных агрегатов и снятии механических напряжений.

На рис. 3 приведены спектры комбинационного рассеяния исследованных образцов. Для микрокристаллического MgO характерна полоса, образованная из линий при 1080 и 1121  $\text{см}^{-1}$ , приписываемая поверхностным фононным модам в TO-LO-фононной щели [8]. Она соответствует наблюдавшейся для всех исследованных образцов полосе с максимумом при 1110  $\text{см}^{-1}$ . В то же время, линии 290  $\text{см}^{-1}$  и 448  $\text{см}^{-1}$ , характерные для микрокристаллического MgO, не были обнаружены. Известно, что образующиеся при нейтронном облучении в микрокристаллах MgO дефекты приводят к наблюдению мод 172, 332, 504 и 610  $\text{см}^{-1}$ . Обнаруженный максимум при 175  $\text{см}^{-1}$  для MgO(C) и MgO(N) может быть связан с модой 172  $\text{см}^{-1}$ . В области 600 – 1000  $\text{см}^{-1}$  наблюдается серия не идентифицированных пиков для всех исследованных образцов, за исключением линии 719  $\text{см}^{-1}$ , которая может быть обусловлена  $\omega_{\text{LO}}$ -модой. Для образца MgO(C) дополнительно наблюдались две полосы 1365 и 1590  $\text{см}^{-1}$ , которые соответствуют D- и G- полосам углерода, что может быть объяснено образованием при имплантации включений аморфного углерода.

### Заключение

Имплантация монокристаллических пленок MgO ионами С приводит к образованию вакансий и вакансионных комплексов, идентифицирован-

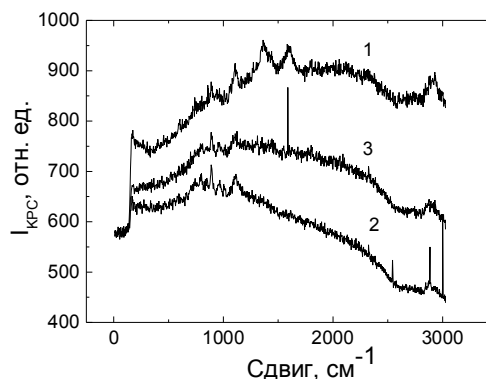


Рис. 3. Спектры комбинационного рассеяния света пленок MgO после имплантации ионами С, N и Mn (кривые 1, 2 и 3, соответственно)

ных по полосам поглощения. Дефектообразование не существенно при имплантации ионами Mn, а для N дефекты связываются в агрегаты. Отжиг на воздухе при  $T=900^\circ\text{C}$  приводит к аннигиляции радиационных дефектов и образованию дефектных комплексов лишь для случая имплантации углеродом. В спектрах комбинационного рассеяния присутствуют пики, характерные для микрокристаллического MgO, что может свидетельствовать об модификации поверхности, что может служить причиной появления магнитных свойств у имплантированных ионами С и N пленках MgO.

### Список литературы

1. Venkatesan M., Fitzgerald C. B., Coey J. M. D. // *Nature*. – 2004. – V. 430. – P. 630.
2. Sundaresan A., Bhargavi R., Rangarajan N., Siddesh U., Rao C. N. R. // *Phys. Rev. B*. – 2006. – Vol. 74. – P. 161306 (4 pages).
3. Gu B., Bulut N., Ziman T., Maekawa S. // *Phys. Rev. B*. – 2009. – Vol. 79. – P. 024407 (7 pages).
4. Li Q., Ye B., Hao Y., Liu J., Zhang J., Zhang L., Kong W. Weng H., Ye B. // *Chemical Physics Letters*. – 2013. – Vol. 556. – P. 237-241.
5. Li Q., Ye B., Hao Y., Liu J., Kong W. Weng H., Ye B. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*. – 2013. – Vol. 297. – P. 29-34.
6. Mishra D., Mandal B.P., Mukherjee R., Naik R., Lawes G., Nadgorny B. // *Appl. Phys. Lett.* – 2013. – Vol. 102. – P. 182404 (4 pages).
7. Monge M. A., González R., Muñoz Santiuste J. E., Pareja R., Chen Y., Kotomin E. A., Popov A. I. // *Phys. Rev. B*. – 1999. – Vol. 60. – P. 3787-3791.
8. Kim H.S., Kim H.W. // *Acta Physica Polonica A*. – 2009. – Vol. 116. – P. 58 - 61.

### OPTICAL FEATURES OF C/ N/ Mn IMPLANTED MgO FILMS

V.A. Dorosinets<sup>1</sup>, I. Dobrinets<sup>2</sup>, A. Wieck<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, e-mail: dorosinets@bsu.by

<sup>2</sup>Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-44780 Bochum, Germany  
e-mail: andreas.wieck@ruhr-uni-bochum.de

Optical absorption and Raman spectra investigations of C/ N/ Mn implanted MgO films have been investigated. The spectra reveal a surface modification and a dependence of the defect formation mechanism on the ion type and the annealing regime.