

# СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Н.В. КИРОВА\*, Д.И. СИДОРОВ\*\*

\*Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, Букирева, 15

\*\*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29

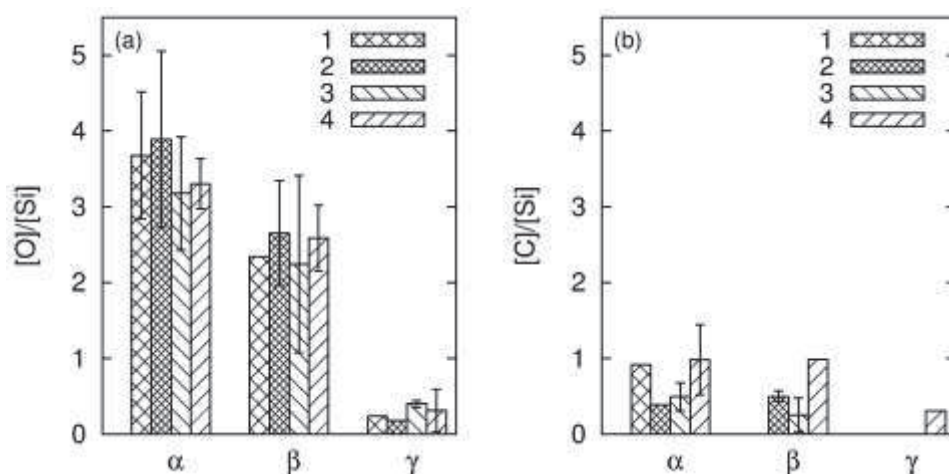
Оксид кремния является одним из ключевых диэлектрических материалов современной электроники. В микроэлектронной технологии тонкие пленки оксида кремния используются для формирования слоев различного функционального назначения. Применение находит как стехиометрический ( $\text{SiO}_2$ ), так и нестехиометрический ( $\text{SiO}_{x<2}$ ), как чистый, так и легированный примесными атомами оксид кремния. Изменение структуры и химического состава материала позволяет управлять его физическими свойствами в широком диапазоне. Исследование процессов образования и характеристик оксида кремния является актуальной научной и практической задачей [1].

В работе представлены результаты исследования структуры и химического состава нестехиометрического оксида кремния, полученного методами плазмохимического осаждения из газовой фазы из смеси паров гексаметилдисилазана (ГМДС(Н)) и кислорода. Образцы были получены в виде пленок толщиной около 2 мкм, осажденных на монокристаллический кремний (100). Варьируемые параметры осаждения представлены в таб. 1, где  $P_{\text{RF}}$  – мощность ВЧ-генератора плазмы (плоский индуктор),  $G_{12} \equiv G_1/G_2$  – отношение расходов  $\text{O}_2/\text{ГМДС(Н)}$ .  $G_2$ , мощность ВЧ-смещения на подложку  $P_{\text{RF-bias}}$  и время осаждения поддерживались постоянными и составляли 1 л/ч, 100 Вт и 30 мин, соответственно. Каждая подложка была предварительно очищена в плазме кислорода ( $P_{\text{RF}} = 800$  Вт,  $P_{\text{RF-bias}} = 100$  Вт, время обработки – 2 мин,  $G_1 = 2$  мин).

**Таблица. Параметры осаждения**

Образец	$P_{\text{RF}}$ , Вт	$G_{12}$
1	800	9
2	400	9
3	800	4
4	400	4

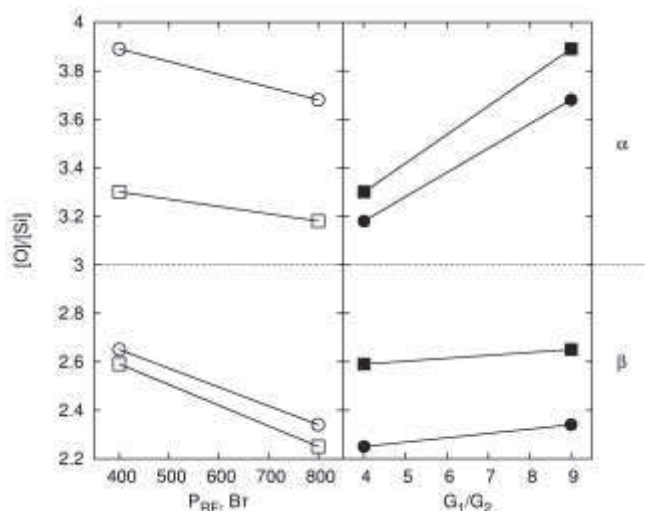
Элементный анализ проводился с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S3400, оснащенного приставкой для энергодисперсионного рентгеновского анализа (EDX) Oxford Instruments INCA.



**Рис. 1.** Элементный анализ: изменение относительной концентрации кислорода (a) и углерода (b) по толщине образца

Непосредственно перед съемкой образцы раскалывались, поэтому EDX-спектры снимались со свежих торцов. Результаты элементного анализа представлены на рис. 1. Торцы были условно разделены на равные части:  $\alpha$  – «приповерхностный слой пленки»,  $\beta$  – «объемный слой пленки» и  $\gamma$  – «приповерхностный слой подложки».

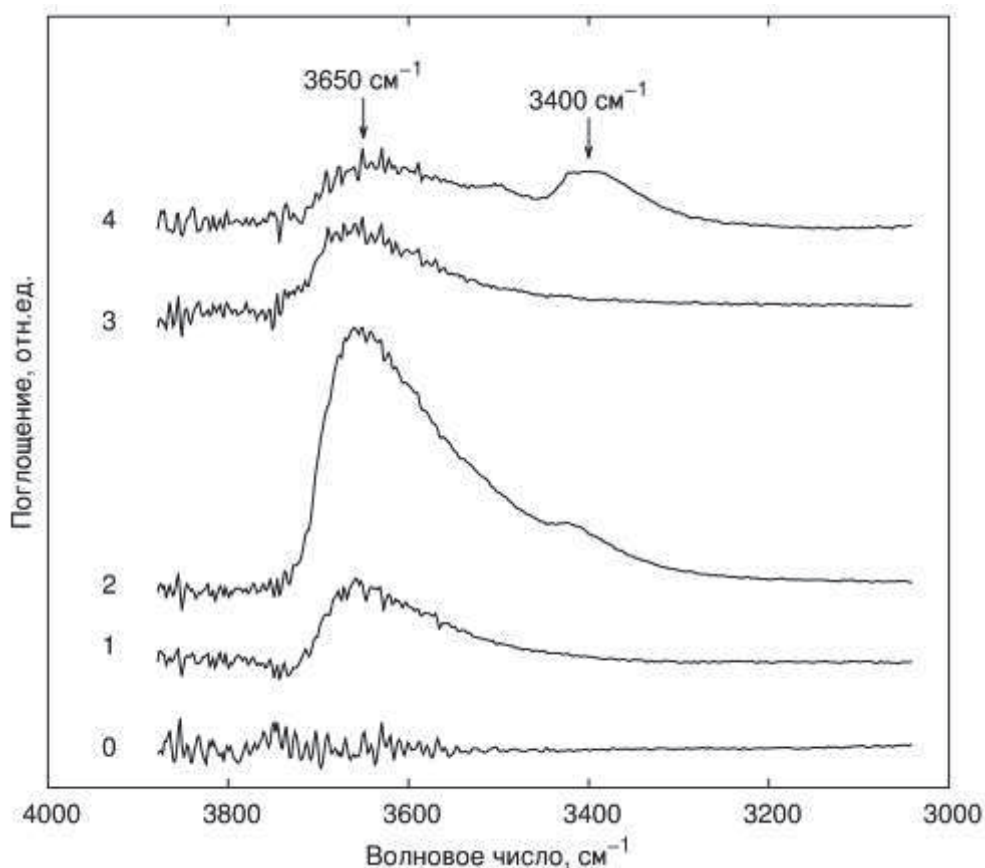
Из рисунка видно, что все образцы имеют градиент по относительной концентрации кислорода, направленный от подложки. Незначительная концентрация кислорода в приповерхностной области кремниевой подложки связана с естественным окислом и предочисткой в кислородной плазме.



**Рис. 2.** Зависимость относительной концентрации кислорода  $[O]/[Si]$  от параметров осаждения: от  $P_{RF}$  при  $\square$  –  $G_{12} = 4$ ,  $\circ$  –  $G_{12} = 9$ ; от  $G_{12}$  при  $\blacksquare$  –  $P_{RF} = 400$  Вт,  $\bullet$  –  $P_{RF} = 800$  Вт

На рис. 2 представлены зависимости относительной концентрации кислорода  $[O]/[Si]$  от параметров осаждения на основе элементного анализа. Видно, что  $[O]/[Si]$  увеличивается, как с ростом  $G_{12}$ , так и с уменьшением  $P_{RF}$ .

Результаты измерения ИК-спектров образцов с помощью Фурье-ИК спектрометра Nicolet 380 на просвет показаны на рис. 3. Камера спектрометра была оснащена влагоосушителем.



**Рис. 3.** Фурье-ИК спектры образцов. 0 – исходная подложка Si

Все образцы имеют гидроксильные группы в составе материала (пик  $3650\text{ см}^{-1}$ , например, Si–OH). В исходной подложке данные группы практически не присутствуют. Явно выраженную абсорбированную влагу (пик  $3400\text{ см}^{-1}$ , молекулярная  $\text{H}_2\text{O}$ ) имеют образцы 2 и 4, полученные при меньшей мощности возбуждения плазмы  $P_{RF}$ . Возможная причина абсорбции влаги – меньшая плотность (большая пористость) материала и большая вероятность влагопоглощения, обусловленная полярными группами OH [3].

Гипотеза о пористости материала согласуется с результатами EDX-анализа: для всех образцов на каждый атом кремния приходится больше двух атомов кислорода. Это превышает стехиометрическое соотношение для диоксида кремния и может говорить о поглощенной влаге.

Известно, что гидроксильная связь увеличивает диэлектрическую проницаемость материала, главным образом увеличивая ориентационную составляющую поляризации материала [4]. Ориентационная поляризация играет главную роль на относительно низких частотах, что может быть критичным для использования материала в большинстве реальных микроэлектронных устройств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maex K., Baklanov M. R., Shamiryay D., F. Lacopi, Brongersma S. H., Yanovitskaya Z. S.* Low dielectric constant materials for microelectronics // *J. App. Phys.* 2003. V. 93. N. 11. Pp. 8793 – 8841.
2. *Grill A., Neumayer D.A.* Structure of low dielectric constant to extreme low dielectric constant SiCOH films: Fourier transform infrared spectroscopy characterization // *J. Appl. Phys.* 2003. V. 94. No. 8. Pp. 6697 – 6707.
3. *Kim Y.-H., Lee S.-K., Kim H.J.* Low-k Si-O-C-H composite films prepared by plasma-enhanced chemical vapor deposition using bis-trimethylsilylmethane precursor // *J. Vac. Sci. Technol. A.* 2000. V.18 (4). Pp. 1216 – 1219.
4. *Cho W., Saxena R., Rodriguez O., Achanta R., Plawsky J.L., Gill W.N.* Effects of sintering on dielectric constants of mesoporous silica // *J. Non-Crystalline Solids.* 2004. V. 350. Pp. 333–344.