

06;12

Различия в изменениях параметров компонентов структур „кремний на сапфире“ после рентгеновского облучения со стороны эпитаксиального слоя и подложки

© А.Н. Киселев, В.А. Перевощиков, В.Д. Скупов, Д.О. Филатов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород
E-mail: vap@nifti.unn.ru

Поступило в Редакцию 28 мая 2003 г.

Методами атомно-силовой микроскопии и лазерной эллипсометрии обнаружены различия в изменениях микроморфологии поверхности слоев кремния структур „кремний на сапфире“ (КНС), показателей преломления и коэффициентов экстинкции кремния и сапфира после облучения композиций рентгеновским излучением с энергий $E \leq 300$ keV со стороны эпитаксиальной пленки и подложки.

В [1] сообщалось об изменении микрорельефа поверхности гетероэпитаксиальных слоев кремния структур КНС при воздействии со стороны пленки импульсным рентгеновским излучением „допороговых энергий“. В настоящей работе представлены новые результаты, полученные в ходе дальнейших исследований обнаруженного эффекта на пластинах КНС с пленками n -Si (001) толщиной $0.3 \mu\text{m}$, выращенных пиролизом моносилана на подложках α -Al₂O₃ (01 $\bar{1}$ 2) толщиной $470 \mu\text{m}$. В качестве контрольных использовались монокристаллы КЭФ-4.5 (001) толщиной $470 \mu\text{m}$.

Структуры облучались на воздухе со стороны приборного кремниевого слоя (сторона 1) и подложки (сторона 2) рентгеновским излучением от источника с Та-анодом без фильтрации характеристических линий. Средняя энергия в максимуме сплошного спектра (граница $E \leq 300$ keV) составляла 75 keV. Облучение проводилось в импульсном режиме при длительности импульсов 5 ns и скважности 300 s.

Экспозиционная доза за импульс достигала 30 R. Суммарная доза облучения в интервале $D = (0-900)$ R набиралась варьированием числа импульсов. Изменение микроморфологии поверхности эпитаксиальных слоев кремния и контрольных образцов фиксировалось на атомно-силовом микроскопе Smena-A производства фирмы NT-MDT, Россия. Обработка результатов осуществлялась с помощью программы SPM Lab 5.0 Analysis only ©Thermomicroscopes. Дополнительно на эллипсометре ЛЭФ-753 ($\lambda = 0.63 \mu\text{m}$) измерялись показатели преломления и коэффициенты экстинкции кремния и сапфира со стороны 1.

Эксперименты показали, что после облучения структур как со стороны кремния, так и со стороны подложки происходит изменение амплитуды микрошероховатости и вида функции распределения латеральных размеров микронеровностей рельефа поверхности эпитаксиального слоя (рис. 1). Аналогичные параметры поверхности контрольных образцов, облученных в тех же режимах, остались неизменными. Характерной особенностью обнаруженных изменений является уменьшение высоты микронеровностей рельефа поверхности приборных слоев после облучения структур со стороны 1 и увеличение после воздействия со стороны 2 (рис. 1, *b* и *c*). С точностью до 12% в исследовавшемся интервале доз облучения зависимость максимальной высоты микронеровностей рельефа пленки кремния R_t от величины экспозиционной дозы может быть аппроксимирована линейной функцией $R_t = R_{t0} + a \cdot D$, где $R_{t0} = (51 \pm 4)$ nm. Коэффициент a для структур, облучавшихся со стороны 1, отрицателен и равен $a = -1.2 \cdot 10^{-3} \text{ R}^{-1}$, а со стороны 2 — $a = 6.1 \cdot 10^{-2} \text{ R}^{-1}$. Полуширина функции распределения латеральных размеров микронеровностей рельефа поверхности приборных слоев также практически линейно зависит от дозы облучения, однако вне зависимости от направленности воздействия рентгеновским излучением на структуры всегда увеличивается с дозой. В случае облучения со стороны 1 тангенс угла наклона этой зависимости равен 0.3 R^{-1} , а со стороны 2 — 0.12 R^{-1} .

По данным эллипсометрии облучение приводит к увеличению показателей преломления (n) как приборного слоя, так и подложки вне зависимости от того, с какой из сторон осуществлялось воздействие (рис. 2). Различие в схеме облучения проявляется лишь в изменениях коэффициентов экстинкции (k): для подложки в обоих вариантах облучения наблюдается уменьшение k с дозой облучения, а для эпитаксиального слоя k увеличивается при облучении со стороны 1

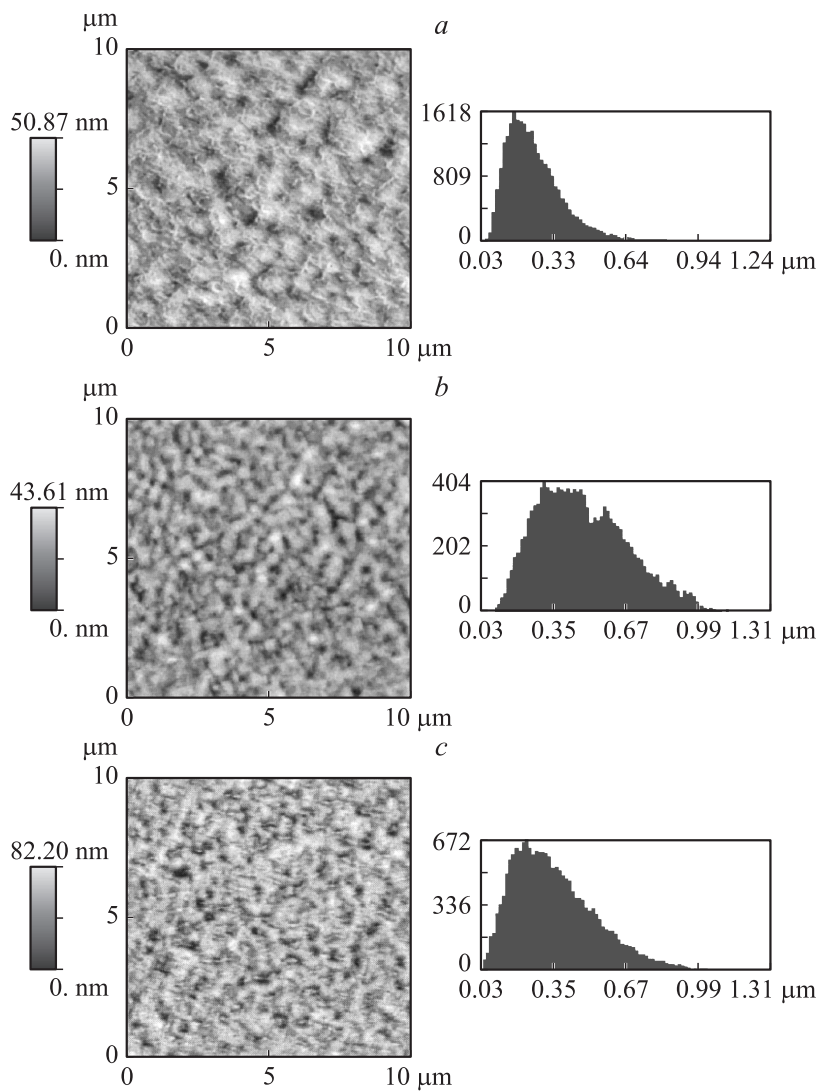


Рис. 1. Микрофотограммы и гистограммы распределения латеральных размеров микрорельефа поверхности кремния структур КНС в исходном состоянии (*a*) и после рентгеновского облучения дозой $D = 900$ R со стороны 1 (*b*) и со стороны 2 (*c*).

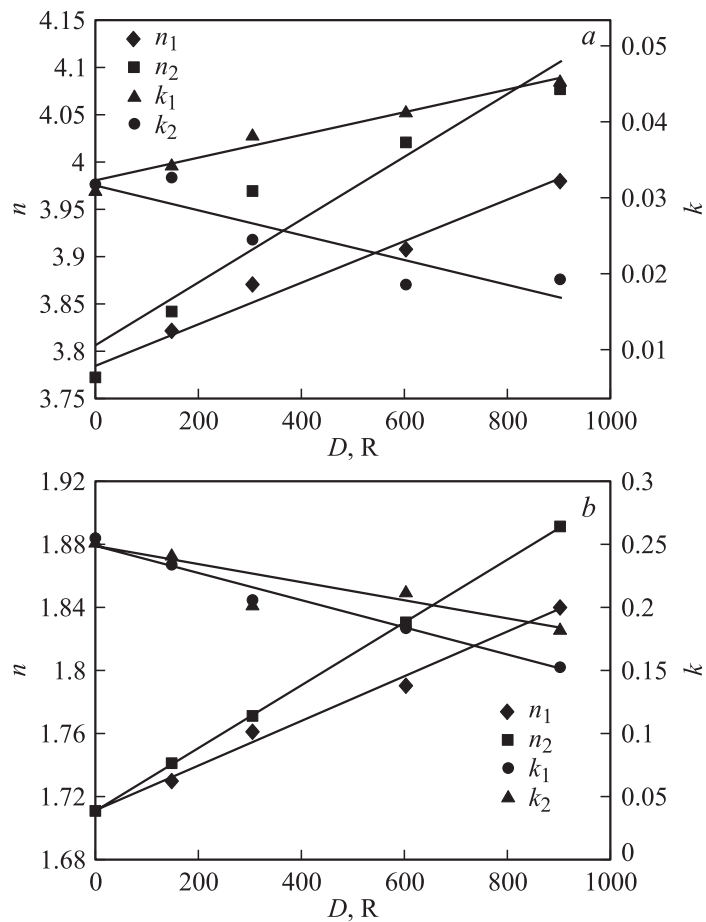


Рис. 2. Зависимость эллипсометрических параметров кремния (а) и сапфира (b) при облучении структур КНС со стороны 1 и стороны 2.

и уменьшается — со стороны 2. В пределах точности измерений скорость изменения коэффициента экстинкции и в том, и в другом случаях составляет $\left(\frac{dk}{dD}\right)_{Si} = 1.4 \cdot 10^{-5} \text{ R}^{-1}$. Наиболее вероятной причиной изменений эллипсометрических параметров компонентов струк-

тур КНС после облучения, по-видимому, является перераспределение металлических примесей и электрически активных дефектов между эпитаксиальным слоем и подложкой под действием упругих волн, возникающих в сапфире в поле ионизирующего излучения [1]. При этом увеличение k свидетельствует о повышении высокочастотной проводимости кремниевой пленки.

Неэквивалентность реакций компонентов структур КНС на облучение со стороны 1 и стороны 2 может быть объяснена несимметричностью функции плотности распределения поглощенной энергии рентгеновского излучения по толщине композиций. В случае облучения со стороны 1 минимальное значение поглощенной энергии, а следовательно и меньшая суммарная амплитуда упругих волн, приходится на эпитаксиальный слой и сопряженную с ним область подложки. При воздействии со стороны 2 на эту зону воздействует поле волн с большей амплитудой, поскольку оно сформировано суперпозицией упругих импульсов, возникающих во всем объеме сапфировой подложки. В этом случае знакопеременные механические напряжения способны активизировать не только канал неконсервативной перестройки дефектов дислокационного типа в эпитаксиальном слое [2], но и микропластическую деформацию кремния за счет скольжения. Видимо, именно последний процесс обуславливает различия в характере измерений микрорельефа приборных слоев при рентгеновском облучении структур со стороны кремния и сапфира.

Список литературы

- [1] *Киселев А.Н., Перовицков В.А., Скупов В.Д.* и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 17. С. 35–39.
- [2] *Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д.* и др. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 3. С. 503–507.