

УДК 53.091:53.096

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НА БЕТА-ИНДУЦИРУЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ КРЕМНИЯ

© А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Ефремова, А.А. Кувшинова

Ключевые слова: кремний; низкоинтенсивное облучение; радиационные дефекты; микротвердость; атмосферные газы.

Установлено, что тип атмосферных газов оказывает существенное влияние на процесс накопления в приповерхностных слоях кремния вторичных радиационных дефектов. Показано, что изменяя тип атмосферных газов можно не только управлять кинетикой бета-индуцированных изменений микротвердости, но и «фиксировать» наведенное облучением разупрочненное состояние.

Контролируемое введение радиационных дефектов в сочетании с термическими обработками позволяет в широких пределах изменять электрофизические характеристики полупроводниковых кристаллов, такие как электропроводность, тип проводимости, концентрация, подвижность и время жизни носителей заряда [1]. Вполне естественно, что радиационно-индуцированная модификация дефектной подсистемы полупроводниковых кристаллов приводит к изменению не только электрических характеристик, но и вызывает изменения фотоэлектрических, оптических, магнитных и механических свойств, причем последние могут проявлять неожиданно высокую чувствительность к электрически не активным типам радиационных дефектов [2].

Обсуждая вопрос о влиянии радиационных дефектов, генерируемых в приповерхностных слоях на микротвердость кристаллов, следует обратить внимание на возможное влияние внешней атмосферы, в которой происходит облучение. В [3] установлено, что на процесс генерации дефектов при воздействии лазерных импульсов в приповерхностных слоях кремния существенное влияние могут оказывать атмосферные газы как активные (кислород, азот, углекислый газ), так и инертные (гелий, аргон, криптон). К некоторым типам атмосферных газов проявляют чувствительность и электрические свойства. Обнаруженное в [4] влияние напуска незначительного количества метана в окружающую среду на температурную зависимость проводимости пленок поликристаллического кремния позволило авторам этой работы предложить их в качестве материала для изготовления твердотельных газовых сенсоров. В связи с этим, настоящая работа была направлена на исследование влияния химического состава атмосферы на качественные и количественные изменения микротвердости монокристаллов кремния, индуцируемые низкоинтенсивным бета-облучением.

В экспериментах исследовали монокристаллические образцы кремния (КЭФ-4,5). Для облучения образцов использовали источник на основе препарата $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ со средней энергией эмитируемых электронов 0,20 МэВ для ^{90}Sr и 0,93 МэВ для ^{90}Y . Интенсивность потока бета-частиц составляла величину $I = 1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Облучение образцов производили при комнатной температуре на воздухе, а также в среде активных (азот или углекислый газ) и инертного (аргон) газов при нормальных давлениях. Тестирование микротвердости Н по Виккерсу на плоскости (100) осуществляли на микротвердомере ПМТ-3. Для этого образцы периодически извлекали из камеры, в которой происходило бета-облучение. Время, затраченное на определение микротвердости, в дальнейшем учитывали (вычитали) при построении дозовой зависимости. Нагрузка на индентор составляла 1 Н, а время нагружения – 10 с. Каждая точка на графиках является усреднением 20 отдельных измерений Н.

Экспозиция образцов (производимая на воздухе при нормальных условиях) в поле бета-частиц с интенсивностью $I = 1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ сопровождается немонотонным во времени (W -образным) изменением микротвердости (рис. 1, кривая 1). Кинетические параметры (длительности облучения $t_{\text{ит}}$, при которых наблюдаются характерные изменения Н) совпадают с данными [5].

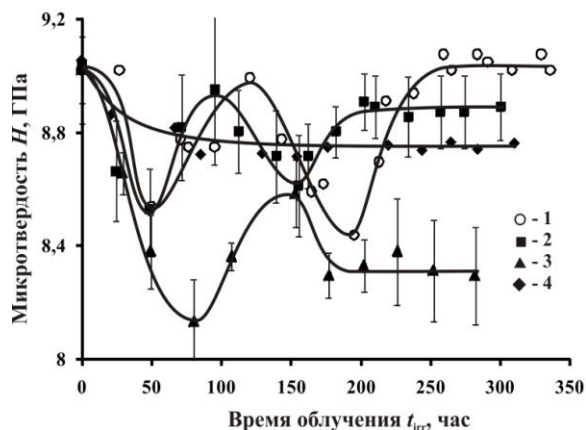


Рис. 1. Зависимости микротвердости монокристаллов кремния от времени бета-облучения с интенсивностью $I = 1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ на воздухе (1), в атмосфере азота (2), аргона (3) и углекислого газа (4) при нормальных давлениях

Облучение кремния в среде азота не приводит к качественным изменениям вида зависимости $H(t_{\text{irr}})$, наблюдаемой при облучении на воздухе. Однако процесс бета-индуцированного изменения микротвердости Si в парах азота несколько ускоряется, что особенно заметно на стадии повторного разупрочнения (рис. 1, кривые 1, 2).

При облучении образцов в среде аргона первый максимум разупрочнения достигает почти вдвое больших значений. Однако необходимое для этого время облучения и, соответственно, флюенс увеличиваются пропорционально (рис. 1, кривая 3). Кроме того, не наблюдается полного промежуточного восстановления H к исходному значению, и, что вызывает особый интерес, на стадии повторного разупрочнения величина микротвердости сохраняет свое значение в течение всего последующего времени облучения.

Использование CO_2 в качестве газа-наполнителя при облучении приводит к практически полному подавлению бета-индуцированного изменения микротвердости кремния (рис. 1, кривая 4). Таким образом, варьирование состава атмосферы приводит не

только к количественным, но и к качественным изменениям вида зависимости $H(t_{\text{irr}})$ при низкоинтенсивном бета-облучении кремния.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии химического состава атмосферы на процесс модификации подсистемы структурных (собственных и радиационных) дефектов в приповерхностных слоях кремния, индуцируемый низкоинтенсивным бета-облучением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловский В.В., Козлов В.А., Ломасов В.Н. // Физика и техника полупроводников. 2000. Т. 34. № 2. С. 129-147.
2. Дмитриевский А.А., Ефремова Н.Ю., Ловцов А.Р., Умрихин А.В. // Тезисы ХLI Международной конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, 2011 г. Москва, Россия. М., 2011.
3. Банишев А.Ф., Голубев В.С., Кремнев А.Ю. // ЖТФ. 2004. Т. 74. № 8. С. 81-85.
4. Шабанов В.Н., Шенгуров Д.В. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. № 10. С. 16-19.
5. Дмитриевский А.А., Головин Ю.И., Васюков В.М., Сучкова Н.Ю. // Известия РАН. Серия Физическая. 2008. Т. 72. № 7. С. 988-990.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., проект № П892.

Поступила в редакцию 21 ноября 2012 г.

Dmitrievskiy A.A., Efremova N.Yu., Kuvshinova A.A.
INFLUENCE OF ATMOSPHERE COMPOSITION ON BETA-INDUCED CHANGES OF SILICON MICROHARDNESS

It was stated that the type of atmospheric gases has influence on the process of accumulation of secondary radiation defects at the silicon surface layers. It was shown that changing the type of atmospheric gases it is possible not only to manage by kinetics of the beta-induced microhardness changes but also "fix" the weakened state caused by irradiation.

Key words: silicon; low-flux irradiation; radiation defects; microhardness; atmosphere gases.