

АМОРФНЫЙ ОКСИД ВАНАДИЯ – НЕОРГАНИЧЕСКИЙ РЕЗИСТ ДЛЯ НАНОЛИТОГРАФИИ

**А. А. Величко, Н. А. Кулдин, Г. Б. Стефанович, А. Л. Пергамент, П. П. Борисков
Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия**

Основным технологическим процессом в микроэлектронике в течении более 40 лет продолжает оставаться литография. Литографические процессы классифицируются по способу энергетического воздействия (экспонирования) на чувствительный слой (резист) наносимый на полупроводниковую подложку: оптическая, электронно-лучевая (ЭЛ), рентгеновская и ионная литография. Анализируя ключевые аспекты литографического процесса с разрешением <100 нм, нужно выделить две основные проблемы: источник экспонирования и адекватный резист. Любые из разрабатываемых систем экспонирования (в частности, оптические DUV и EUV и ЭЛ) в принципе обеспечивают необходимое разрешение, тогда как проблема резиста остается открытой [1]. Одна из нерешенных задач заключается в низкой стойкости к плазменным процессам существующих резистов. Резистивные материалы, представляющие собой органические полимерные композиции (например, PMMA), легко разрушаются в ходе плазменного травления.

Ранее нами было показано [2], что перспективными для разработки неорганических резистов являются метастабильные аморфные пленки диоксида ванадия, имеющие высокую чувствительность к фотонному и электронному облучениям.

В данной работе представлены результаты, полученные при разработке электронно-лучевого литографического процесса с негативным неорганическим резистом на основе аморфных оксидов ванадия. Аморфные пленки оксида ванадия были получены методом анодного окисления. После ЭЛ обработки происходит изменение физико-химических свойств материала, заключающееся, в частности, в росте плазменной и химической стабильности оксида, что позволяет проводить селективное травление пленки на этапе проявления резиста. Перечислим основные параметры и характеристики оксидно-ванадиевого резиста.

Чувствительность к электронно-лучевому экспонированию D_{\min} . Чувствительность зависит от параметров экспонирования, условий окисления, времени хранения. Для энергии электронов в пределах 1–15 кэВ минимальные дозы обеспечивающие проявление линий шириной ~ 100 нм достигали 15–20 мкКл/см². Для энергий электронов 20–50 кэВ D_{\min} увеличивается до 50–100 мкКл/см². Отметим также, что D_{\min} зависит от экспозиционного тока и уменьшается с его ростом.

Разрешение оксидно-ванадиевого резиста. При 50 кВ экспонировании было получено разрешение меньше 100 нм (~ 70 нм). Экспозиционные дозы при этом достигали значений 200 – 300 мкКл/см². Уменьшение размера зерен металлического ванадия или переход на альтернативные методы получения оксидных слоев обеспечивает более высокое разрешение.

Термо- и плазмостабильность оксидно-ванадиевого резиста. Каждый из слоев оксидно-ванадиевого резиста обладает высокой термо и плазмостабильностью, характерной для неорганических материалов. Это позволяет проявлять резист сухими плазменными процессами, которые обеспечивают высокое разрешение.

Для оптимального литографического процесса необходимо обеспечить отношение высоты линии резиста к ширине $\sim 1:1$. Высокая стабильность оксида ванадия позволяет проводить подобный режим травления.

В заключение рассмотрим возможные механизмы трансформации свойств оксидов переходных металлов под действием электронного облучения. При больших дозах облучения характер модификации свойств аналогичен процессам, наблюдаемым при термической обработке оксидных пленок. Доминирующей причиной модификации свойств в данном случае являются кристаллизационные процессы в исходно аморфных структурах. Естественно предположить развитие процессов кристаллизации и при ЭЛ обработке оксидов. Это подтверждается прямыми рентгенографическими исследованиями изменения структуры аморфных оксидов ванадия [3].

Определенные сложности возникают при анализе эффекта модификации свойств оксидов при низких плотностях энергии (малых дозах). Мы полагаем, что наиболее вероятным процессом в данном случае является электронно-лучевое возбуждение перехода металл-изолятор в VO_2 и переход пленки в металлическое состояние. При этом также происходит электронно-индуцированное изменение стехиометрии оксида за счет перераспределения кислорода между внешними (V_2O_5) внутренними (VO_2) слоями оксида, а также металлической подложкой. Дальнейшая генерация, под действием облучения, дефектов нестехиометрии типа кислородных вакансий, играющих роль донорных центров, будет стабилизировать металлическую фазу VO_2 .

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства Образования РФ и Американского Фонда Гражданских Исследований и Развития (CRDF) № PZ-013-02.

1. E.H. Anderson, G.G. Barclay, L.E. Ocola, R.L. Brainard // *Microelectronic Engineering*. 2002, V.61-62, P.707-715.
2. A.L. Pergament, G.B. Stefanovich, E.L. Kazakova, D.G. Stefanovich, A.A. Velichko // *Sol. St. Phenomens*, 2003, V. 90-91, P.97-102.
3. Г. Б. Стефанович, А.Л. Пергамент, А.А. Величко, Д.Г. Стефанович, Н.А. Кулдин, П. П. Борисков // *Сбор. док. 15-го Межд. симпозиума «Тонкие пленки в оптике и электронике, Харьков, 2003, С.263-267.*