

### **Заключение**

Таким образом,  $U$ ,  $C$ ,  $L$  по-разному и довольно сложным образом влияют на характеристики канала разряда, и для определенного вида ЭГУ их совокупность должна быть подобрана отдельно.

Предложенная методика позволяет это сделать для каждого конкретного случая и получить все характеристики ЭГУ не прибегая к сложным расчетам.

Полученное хорошее совпадение результатов расчетов и экспериментов позволяет рекомендовать предложенную методику для практических расчетов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Наугольных К.А., Рой Н.А.* Электрические разряды в воде. М., 1971.
2. *Кривицкий Е.В., Шамко В.В.* Переходные процессы при высоковольтном разряде в воде. Киев, 1979.

*Поступила 24.12.02*

### **Summary**

The designed technique allows to establish by a computational way, avoiding composite and expensive experiments, hydrodynamic and electrical characteristics of electrocategory (electrodischarge) for different given technological conditions of parameters of a discharge circuit. As an example the calculations of the hydrodynamic and electrical characteristics with reference to parameters of discharge circuits of the electrohydraulic installations on splitting of nonmetallic stuffs are executed (made).

---

А.С. Сафаров, Д.М. Шукурова, А.Х. Икрамов, Т.Ж. Арсланова

## **ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДА НА КРЕМНИИ**

*Ташкентский государственный технический университет им. А.Р. Беруни,  
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Узбекистан*

Структура поверхности кристалла представляет интерес при изучении процесса окисления полупроводниковых образцов. С этой точки зрения является важным выяснение связи структуры поверхности кристалла с природой и энергией образования поверхностных комплексов адсорбат – адсорбент.

Цель данной работы – изучение процесса образования оксида кремния на начальном этапе окисления с учетом адсорбции и десорбции частиц.

Нами были проанализированы данные об адсорбционных свойствах системы кремний – кислород и кремний – диоксид кремния, в которых для исследования прироста веса образца кремния в процессе его окисления при различных условиях применялся термомикрогравиметрический метод [1 – 3].

Для количественного изучения адсорбции и десорбции частиц на поверхности кремния нами проведена серия экспериментов. Их сущность заключается в следующем. Проводилась сортировка на основе технических данных заводского паспорта кристалла. Некоторые образцы были вырезаны из одного и того же слитка монокристалла кремния, для того чтобы убедиться в однотипности образцов. Затем они подвергались механической и химической полировке при заводских условиях, после чего проводилось окисление пластины кремния. Окисление проводилось двумя методами: первый – перед окислением образец очищался путем термического нагрева в высоком вакууме; второй – без очистки поверхности образца в высоком вакууме, то есть в условиях, применяемых в серийном изготовлении на заводах интегральных схем и металл – окисел – полупроводник (МОП) структур.

---

© Сафаров А.С., Шукурова Д.М., Икрамов А.Х., Арсланова Т.Ж., Электронная обработка материалов, 2003, № 4, С. 84–86.

Кинетика роста на начальной стадии окисления сильно отличается при использовании различных методов: в процессе окисления без предварительной очистки поверхности образца на начальном этапе наблюдается десорбция с поверхности образца, которую можно зарегистрировать только методом термомикрогравиметрического взвешивания (чувствительность порядка  $10^{-9}$  г/см<sup>2</sup>). Теоретические расчеты и сопоставление их с результатами экспериментов показали, что во время окисления происходит десорбция различных частиц с поверхности кремния. Для выяснения рода, а также количества адсорбированных и десорбированных частиц, был проведен ряд специальных экспериментов. Окисление кремния проводилось в атмосфере сухого кислорода при различных температурах и давлениях. Процесс окисления проводился до установления стационарности роста пленки по параболическому закону. После этого образцы охлаждались до комнатной температуры в различных режимах. Затем эксперимент повторялся в том же режиме окисления образцов. Согласно теории кинетики окисления после установления предыдущего режима следовало бы ожидать параболического роста окисной пленки.

Результаты экспериментов, проведенных в последние годы, показывают, что если окисленный кремний охлажден до комнатной температуры, а затем продолжалось окисление в том же режиме, то на начальном этапе повторного окисления происходят аномальные явления. После установления параболического роста окисной пленки вместо ожидаемого привеса образца происходит убывание его веса. Начальные этапы кинетики окисления образцов, подвергнутых высоковакуумной обработке образцов, которые не подвергались вакуумной обработке, отличаются, а последующие этапы кинетики окисления совпадают.

Такая аномалия объясняется тем, что в процессе окисления кристалла кремния при первичном взаимодействии кислорода с поверхностью происходит разрушение его поверхностных структур. Это приводит к образованию огромного количества точечных дефектов из-за экзотермичности химических реакций кремния с молекулами кислорода. С другой стороны, когда образцы не подвергаются высоковакуумной обработке, в процессе первичного окисления происходит десорбция частиц с поверхности кристалла. Для кристаллов, предварительно подвергнутых высоковакуумной обработке, десорбция на первичном этапе окисления не наблюдается. Кроме того, в обоих случаях при первичном окислении происходит ускоренный рост оксида кремния. В случае окисления кремния без предварительной высоковакуумной обработки происходит параллельно два противоположных явления: наблюдается одновременное поглощение кислорода и десорбция частиц с поверхности кремния. Эксперименты показывают, что каждый раз без исключения при повторном окислении при одном и том же режиме, сколько бы их ни было, в начале процесса окисления наблюдается именно такая аномалия. В начале повторного окисления происходит ускоренный рост диоксида кремния с одновременной десорбцией с поверхности кремния и окисленного кремния.

Адсорбционные и десорбционные явления на поверхности кремния сильно влияют на электронные состояния приповерхностных слоев. Для изготовления высококачественного диоксида кремния и Si – SiO<sub>2</sub> структур необходимо уметь управлять этими процессами. Поэтому из теоретических соображений предложено уравнение, описывающее кинетику процесса окисления кремния с учетом адсорбционных и десорбционных свойств диэлектриков и полупроводников. Из полученных экспериментальных и расчетных данных можно сделать следующие выводы.

Во-первых, во всех случаях при окислении кристалла кремния без предварительных дополнительных высоковакуумных обработок, то есть при окислении по заводскому режиму, происходит десорбция частиц с поверхности кремния. А при дальнейшем повторном окислении при одном и том же режиме также наблюдаются адсорбционно–десорбционные явления на поверхности уже окисленного кремния.

Во-вторых, в случае, когда кристалл кремния дополнительно обрабатывается в высоком вакууме при первичном окислении на поверхности кремния не наблюдаются адсорбционно–десорбционные явления. А при повторном окислении кремния при одном и том же режиме они наблюдаются.

Такую аномалию можно объяснить следующим образом. Во всех случаях, когда наблюдаются адсорбционно–десорбционные явления, на поверхности кремния имеются адсорбированные частицы. На начальном этапе окисления происходит десорбция этих частиц. Десорбция частиц может продолжаться до сотен минут. А в случае, когда проводится предварительная высоковакуумная обработка, эти частицы до окисления покидают поверхность кремния, так как при повышении температуры происходит термоэмиссия частиц с поверхности кремния. Именно поэтому при таких режимах окисления на первичном окислении не наблюдается десорбции частиц, то есть не наблюдается уменьшения веса образца.

Таким образом, с одной стороны, явление кинетики ускоренного роста оксида на начальном этапе окисления с учетом десорбции зависит от концентрации точечных избыточных дефектов, а с другой, именно эти дефекты и определяют электрофизические свойства образованных структур кремний – диоксид кремния. Целенаправленное управление начальным процессом окисления с подбором режима окисления дает возможность управлять свойствами образованной системы Si – SiO<sub>2</sub>, которые очень важны для получения высококачественных приборов на основе МОП – структур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арсламбеков В.А., Сафаров А.С. Некоторые особенности механизма и кинетики окисления кремния // Микроэлектроника. 1977. Т.6. Вып. 1. С. 75 – 81.
2. Сафаров А.С. Исследование методами ОЭС и ВИМС взаимодействия кислорода с поверхностью кремния. // Материалы международной XI – конференции ВИП – 93. М., 1993. Т. 2. С. 99 – 101.
3. Сафаров А.С. Новые проблемы при образовании оксида кремния. Микроэлектроника. Т. 26. Вып. 1. М., 1997. С. 73 – 75.

Поступила 24.12.02

## Summary

In this work mentioned about the properties of the overthin layer of the SiO<sub>2</sub>. Showed that the chargeable condition at the boundary between Si and SiO<sub>2</sub> depends on conditions of the oxidation.

---

М.К. Бахадирханов, Х.М. Илиев, К.С. Аюпов, Х.Ф. Зикриллаев, О.Э. Сатторов

## ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ В СИЛЬНОКОМПЕНСИРОВАННОМ КРЕМНИИ

Ташкентский государственный технический университет им. А.Р. Беруни,  
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Узбекистан

Эффект отрицательного магнитосопротивления (ОМС) в полупроводниках с мелкими примесями и в полупроводниках, слабокомпенсированных с примесями элементов переходных металлов, обнаружен при температурах жидкого гелия [1–3]. Этот эффект представляет интерес с теоретической точки зрения, поскольку физический механизм ОМС в полупроводниках окончательно не выяснен, а также и в плане практического применения. Полупроводники с ОМС могут быть применены в качестве высокочувствительных датчиков в области автоматики и вычислительной техники. Для практического применения этих полупроводников необходимо, чтобы ОМС в них наблюдалось при комнатной температуре и в слабых магнитных полях. Поэтому поиск новых полупроводниковых материалов с ОМС при комнатной температуре остается актуальным.

В полупроводниках при выполнении условий сильной компенсации  $N_a \approx N_d$  из-за перераспределения носителей заряда между мелкими и глубокими уровнями [4] концентрация равновесных носителей заряда  $n_0$  и  $p_0$  в  $10^5 - 10^6$  раз меньше, чем концентрация примесных ионов  $N_d^{+n}$ ,  $N_a^{-m}$ . Отсутствие локальной электронейтральности и экранировка электрическим полем, создаваемым многократно заряженными примесными ионами и кластерами, приводят не только к существенному изменению потенциала в кристаллической решетке, но и к значительной структурной перестройке самой матрицы. Вблизи таких центров начинают проявляться черты, характерные для неупорядоченных систем. Все это дает основание считать, что полупроводники в условиях сильной компенсации представляют собой новый класс полупроводниковых материалов. Действительно, как показали результаты исследований, в таких материалах наблюдается ряд новых физических явлений, не характерных для некомпенсированных и слабокомпенсированных полупроводниковых материалов, – аномально высокая фоточувствительность, глубокое инфракрасное и температурное гашение фотопрово-