

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ КРЕМНИЯ

Федяева О.А., Кировская И.А.

Омский государственный технический университет

E-mail: phiscem@omgtu.ru

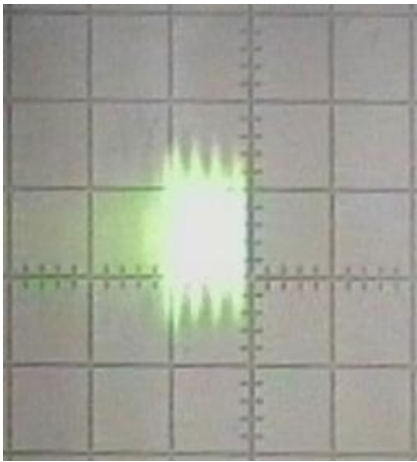
Современными методами исследования поверхности установлено, что реконструкцию и релаксацию испытывают не только атомно-чистые поверхности полупроводников и металлов, но и поверхности, взаимодействующие с газами, парами, атомами металлов [1, 2].

Целью данной работы явилось исследование динамики поверхностных слоёв монокристаллов кремния при адсорбции кислорода и водорода. Выбор объекта исследования обусловлен относительно хорошей изученностью его адсорбционных и других свойств. Опираясь на мнение о том, что локальные электрические поля, возникающие на поверхности пьезоэлектрика при адсорбции газов, способны вызывать механические деформации поверхностных слоёв, нами сделано предположение о наличии в кристаллах кремния обратного адсорбционного пьезоэлектрического эффекта.

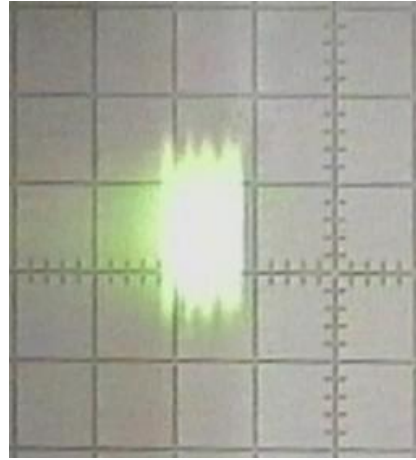
Для регистрации пьезоэффекта был использован осциллограф, настроенный на ждущий режим приёма сигналов. Запись осциллограмм осуществлялась видеокамерой. Электрические точечные контакты к свежесколотым поверхностям монокристаллов изготавливали методом термокомпрессионной сварки на основе серебряно-оловянного припоя. Образцы монокристаллов кремния помещали в тщательно экранированную от электромагнитных наводок ячейку из молибденового стекла с электрическими выводами, которые затем подсоединяли к осциллографу. Адсорбцию кислорода и водорода изучали при комнатной температуре и давлениях 5-53 Па на предварительно вакуумированных в течение нескольких часов при 373 К кристаллах кремния.

Результаты исследований представлены в виде осциллограмм импульсов напряжения, генерируемых кристаллом кремния в условиях адсорбции и десорбции кислорода и водорода (рис.1, 2).

Импульсы напряжения имеют синусоидальную форму и образуют стоячие волны. Амплитуда волн 2А и их частота одинаковы в кислороде и водороде. Они составляют соответственно 7,2 мВ и ~100 Гц. Длительность импульсов в кислороде – $2 \cdot 10^{-2}$ с, в водороде – $1,83 \cdot 10^{-2}$ с. Промежутки времени между импульсами напряжения составляют от нескольких секунд до десятков минут. При давлениях кислорода более 30 Па импульсы напряжения не наблюдались. В водороде импульсы регистрировались во всём диапазоне изучаемых давлений. Однако при 32 Па импульсы напряжения присутствовали только в актах адсорбции. Дублирование опытов позволяет заключить, что импульсы напряжения возникают в кристалле кремния хаотично и вероятность их появления зависит от давления газа.

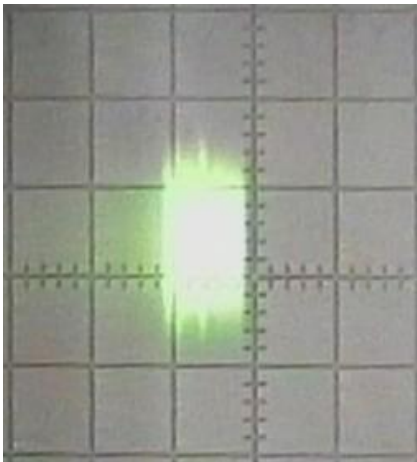


а)

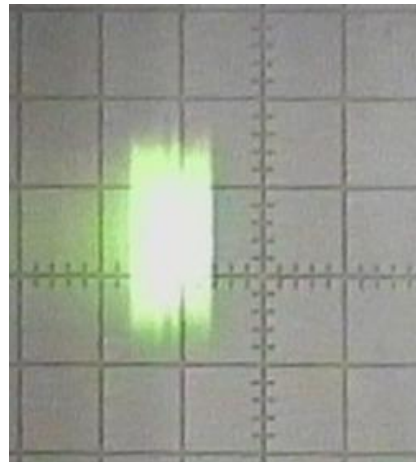


б)

Рис. 1. Осциллограммы импульсов напряжения, генерируемых монокристаллом кремния в кислороде (коэффициент усиления – 3; 0,01 В/дел; 20 мс/дел): а – адсорбция; б – десорбция



а)



б)

Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения, генерируемых монокристаллом кремния в водороде (коэффициент усиления – 3; 0,01 В/дел; 20 мс/дел): а – адсорбция; б – десорбция

Наблюдаемые всплески напряжения в кристаллах кремния в отсутствие внешнего источника тока можно отнести к одному из проявлений явления интермиттанса. Согласно [3], интермиттанс – случайные и короткие всплески динамических параметров системы на фоне обычных тепловых флуктуаций. Интермиттанс свойственен каждой сложной нелинейной динамической системе в условиях воздействия надпороговых внешних возбуждений. По данным работ [3, 4], интермиттанс в кристаллах кремния проявляется в виде сверхтемпературных флуктуаций токов и экзоэмиссии заряженных частиц с поверхности. Возникновение интермиттанса авторы связали с неупорядоченностью поверхностной фазы и существованием на ней центров с мягкими колебательными модами (нелинейные поверхностные осцилляторы), составляющих основу медленных поверхностных электронных состояний (МПЭС).

Захват носителей заряда на такие состояния стимулирует перестройки поверхностной фазы, что может быть, по мнению авторов, причиной возникновения интермиттанса.

Анализ известных в литературе работ [5, 6] показал, что адсорбция кислорода и водорода не вызывает реконструкционных переходов на поверхности кремния, поэтому наблюдаемый нами интермиттанс обусловлен скорее всего релаксацией поверхности. При релаксации упорядочение связи в двухмерных решётках, параллельных поверхности, происходит в направлении перпендикулярном поверхности и сопровождается сжатием системы без изменения конфигурации.

Действительно, возникновение стоячей волны в кремнии возможно только в случае отражения волны как от менее плотной, так и более плотной среды. Адсорбция газов, сопровождающаяся накоплением на поверхности частиц O_2^- , O^- , H^+ , H_2^+ , вызывает деформацию поверхностных слоёв, которая в свою очередь, обуславливает обратный пьезоэлектрический эффект. Обнаруженный нами интермиттанс логично связать с медленными поверхностными электронными состояниями, которые согласно [7], располагаются в разрушенном слое неокисленного кристалла. Так, длительность импульсов напряжения в кислороде ($2 \cdot 10^{-2}$ с) и в водороде ($1,83 \cdot 10^{-2}$ с) совпадает с характеристическими временами релаксации медленных состояний (10^{-2} с) [8]. Если учесть, что основной заряд поверхности сосредоточен в медленных состояниях биографического происхождения, а адсорбция донорных и акцепторных молекул заряжает поверхность и выводит из равновесия систему биографических состояний вместе с локализованными в них зарядами, тогда релаксация этих зарядов должна вызвать релаксационные смещения поверхности, обуславливающие интермиттанс.

Литература

1. Гомоюнова М.В., Пронин И.И. //Журнал технической физики. 2004. Т.74. вып. 10. С.1.
2. Репинский С.М. //Физика и техника полупроводников. 2001. Т.35. вып.9.
3. Киселёв В.Ф., Крылова И.В., Петров А.В., Стоянова И.Г., Тимашев С.Ф.// Журнал физической химии. 1993. Т.67. №9. С.1857.
4. Стоянова И.Г., Филатов А.В.//Микроэлектроника. 1989. Т.18. №1. С.40.
5. Грин М.И., Ли М. Дж. – В кн.: Поверхностные свойства твёрдых тел. М., «Мир», 1972. с. 155.
6. Заводинский В.Г. и др. //Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38. Вып. 11. С.1281-1284.
7. Киселёв В.Ф., Крылов О.В. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках. – М.: Наука, 1979. -232 с.
8. Кировская И.А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Адсорбция газов. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1984. – 148 с.