

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ КРЕМНИЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ДИФФУЗИЮ НА НЕЙ КАЛИЯ И НАТРИЯ

П.Г.Борзяк, А.А.Дадыкин

Методом автоэлектронной микроскопии изучена диффузия калия и натрия на очищенной полевым испарением и перестроенной, в результате высокотемпературного ($T \gtrsim 700\text{K}$) нагрева, поверхности кремния. После перестройки поверхности коэффициент диффузии возрастал более, чем на три порядка.

Диффузия атомов металлов на полупроводниках изучалась преимущественно на протяженных образцах с "реальной" поверхностью, содержащей, как правило, множество структурных дефектов и примесей. В данной работе предпринята попытка изучения поверхностной диффузии атомов щелочных металлов на кремнии методом автоэлектронной микроскопии, при использовании которого может быть получена с наиболее определенными свойствами чистая поверхность, как, например, в ¹.

С этой целью для приготовления автокатодов использовали кристалл кремния высокой чистоты, в котором определенная нейтронно-активационным анализом концентрация щелочных примесей была менее 10^{12} см^{-3} . Атомарная чистота вершины автокатада обеспечивалась, после соответствующей термообработки, полевым испарением слоев из нее сначала в водороде, а затем в вакууме, как это делалось в работе ². В той же работе методом автоэлектронной микроскопии показано, что приготовленная таким способом поверхность не имеет ступеней и является атомарно гладкой.

Натрий и калий, очищенные многократной дистилляцией в вакууме, поступали на боковую поверхность острия из молекулярного пучка при давлении остаточных газов в экспериментальном приборе $p = 10^{-10}$ торр. Поток атомов оценивался с помощью пьезокварцевых микровесов.

Диффузия проходила в отсутствие электрического поля, и лишь на время фотографирования автоэмиссионного изображения острия к нему прикладывалось напряжение. Коэффициент поверхностной диффузии оценивался по времени перемещения видимой в автоэлектронном микроскопе границы пленки адсорбата (рис. 1, а и б) на известное расстояние, определяемое из измерений размеров острия в растровом электронном микроскопе. При радиусе закругления острия 1 мкм продвижение границы при комнатной температуре за время 4 минуты оценивается, из сопоставления рис. 1, а и б, в 1,5 мкм. Это дает значение $D \approx 10^{-10}\text{ см}^2/\text{с}$.

Прогрев автокатада, предварительно очищенного полевым испарением, при $T \gtrsim 700\text{K}$ приводит к перестройке его вершины и к появлению отчетливой монокристаллической огранки (рис. 2, а). На такой перестроенной поверхности распространение адсорбатов по вершине острия происходит настолько быстро, что уже через несколько секунд, необходимых

для выключения источников щелочных атомов и включения автоэмиссионного поля, вся эмитирующая поверхность автокатада покрывается адсорбатом. Зафиксировать перемещение границы адпленки не удавалось даже при охлаждении образца жидким азотом. На рис. 2, б представлено автоэмиссионное изображение острия через 5 с после нанесения на его боковую поверхность двух монослоев калия. Видно, что к этому времени процесс диффузии закончился полностью. Оценка показывает, что после перестройки поверхности коэффициент диффузии возрастает более, чем на три порядка.

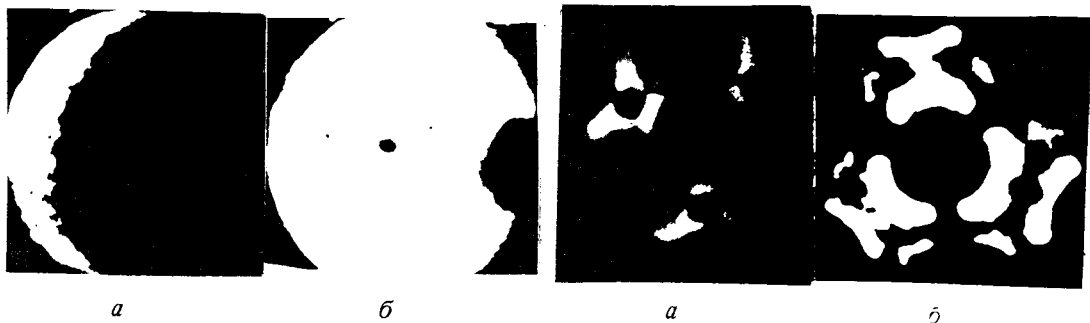


Рис. 1. *а* – Граница пленки адсорбата нанесенного на неперестроенную вершину острия, *б* – та же граница через 4 минуты

Рис. 2. *а* – Автоэмиссионное изображение кремнивого острия с перестроенной поверхностью после нагрева образца до 1500 К, *б* – Автоэмиссионное изображение того же острия через 5 с после напыления двух монослоев калия на боковую поверхность острия

Такой поразительный эффект резкого увеличения коэффициента диффузии атомов щелочных металлов после перестройки поверхности кремния свидетельствует о заметном уменьшении энергии активации диффузии.

Поверхность кремния, получаемая после испарения в электрическом поле, характеризуется, как известно, плотностью поверхностных электронных состояний (ПЭС) около 10^{15} см^{-2} . На эти состояния могут захватываться электроны поступающих на поверхность щелочных атомов с образованием между ними и подложкой сильной ионной адсорбционной связи.

После перестройки поверхности, в результате нагрева образца, плотность ПЭС, как известно, уменьшается на несколько порядков. Поэтому они перестают играть определяющую роль в адсорбции. Кроме того, перестройка приводит к изменению самой атомной структуры поверхности. Так, например, грань (111) кремния приобретает структуру 7×7 . Все это должно приводить к изменению и адсорбционной связи и потенциального рельефа поверхности. Вследствие этого должно произойти изменение энергии активации диффузии и ее коэффициента.

Литература

1. *Дадыкин А.А.* Радиоэлектроника и электроника, 1980, 25, 2628.
2. *Kellogg G.L.* Phys. Rev., 1983, 28, 1957.

Поступила в редакцию

5 июня 1984 г.

После переработки

4 сентября 1984 г.