

О МЕХАНИЗМЕ ПЕРЕНОСА НИКЕЛЯ ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ Si(111) В ПРИСУТСТВИИ АДсорБИРОВАННЫХ АТОМОВ КОБАЛЬТА

А.Е.Долбак, Б.З.Ольшанецкий¹⁾, С.А.Тийс

Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН
630090 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 8 февраля 1999 г.

Методами дифракции медленных электронов и электронной оже-спектроскопии установлен механизм переноса никеля вдоль поверхности Si(111) в присутствии адсорбированных атомов кобальта. Этот механизм заключается в диффузии атомов никеля через объем и их сегрегации на поверхность в процессе отжига. Роль этого механизма в переносе никеля становится определяющей при температурах ниже 700°С, при которых перенос никеля вдоль чистых поверхностей кремния не наблюдается. Установлено, что нижняя температура, при которой наблюдается перенос никеля на чистых поверхностях кремния определяется коэффициентом сегрегации никеля.

PACS: 61.14.Hg, 68.35.-p

Поверхностная диффузия лежит в основе многих процессов на поверхности твердого тела [1, 2]. Несмотря на то, что экспериментально поверхностная диффузия изучена сравнительно мало, имеющиеся данные свидетельствуют о большом многообразии физических процессов, участвующих в переносе атомов вдоль поверхности кристалла. Согласно существующим представлениям, скорости миграции атомов на поверхности больше, а энергии активации процесса диффузии меньше соответствующих величин в объеме твердого тела, то есть диффузия атомов на поверхности должна протекать легче, чем в объеме. Но оказывается, что это не всегда так. Для развития представлений о поверхностной диффузии интересно проследить поведение Ni на поверхностях кремния. Исследования с помощью методов дифракции медленных электронов (ДМЭ) и электронной оже-спектроскопии (ЭОС) показали, что транспорт Ni вдоль изначально чистых поверхностей Si осуществляется не посредством его поверхностной диффузии, а путем его диффузии через объем Si с последующей сегрегацией на поверхность из-за понижения растворимости Ni в Si при снижении температуры [3]. Основанием для такого вывода служит отсутствие сигнала Ni в оже-спектрах от поверхности образца кремния в процессе его отжига. Образующиеся же в результате диффузии концентрационные распределения Ni появляются только после снижения температуры образца. Перенос Ni на чистых поверхностях Si методом ЭОС наблюдается при температурах выше 700°С. При более низких температурах из-за уменьшения растворимости Ni в Si (см., например, [4]) и коэффициента его сегрегации на поверхность чувствительность ДМЭ и ЭОС оказывалась недостаточной для регистрации получающихся распределений Ni.

Недавно было обнаружено, что в присутствии субмонослойных концентраций адсорбированных атомов Co [5] и Fe [6] диапазон температур, в котором наблюдается

¹⁾ e-mail: olshan@isp.nsc.ru

перенос на поверхности Si, существенно расширяется в сторону более низких температур, а именно, до 500°C на поверхности с адсорбированным Co и до 600°C на поверхностях с адсорбированным Fe. Кроме того, в отличие от чистой поверхности, в этих экспериментах оже-сигнал от Ni наблюдается уже во время отжига образца в процессе диффузии Ni. То есть, в присутствии атомов второго металла появляется какой-то дополнительный механизм переноса никеля. Результаты расчетов соответствующих коэффициентов диффузии никеля и температурные зависимости этих коэффициентов приведены в статьях [5, 6]. Однако механизм переноса Ni на поверхности Si с адсорбированными атомами второго металла оставался нераскрытым. В данной работе мы установили природу этого механизма на основе экспериментальных результатов, полученных при исследовании с помощью методов ДМЭ и ЭОС переноса никеля на поверхности Si(111) в присутствии адсорбированных атомов Co.

Можно предположить два механизма переноса Ni, при которых Ni будет регистрироваться методом ЭОС на поверхности Si во время отжига образца. Во-первых, это – поверхностная диффузия, связанная с находящимися на поверхности адсорбированными атомами второго металла. Во-вторых, адсорбированные атомы металла могут способствовать поверхностной сегрегации атомов Ni, диффундирующих через объем, во время отжига кремниевого образца.

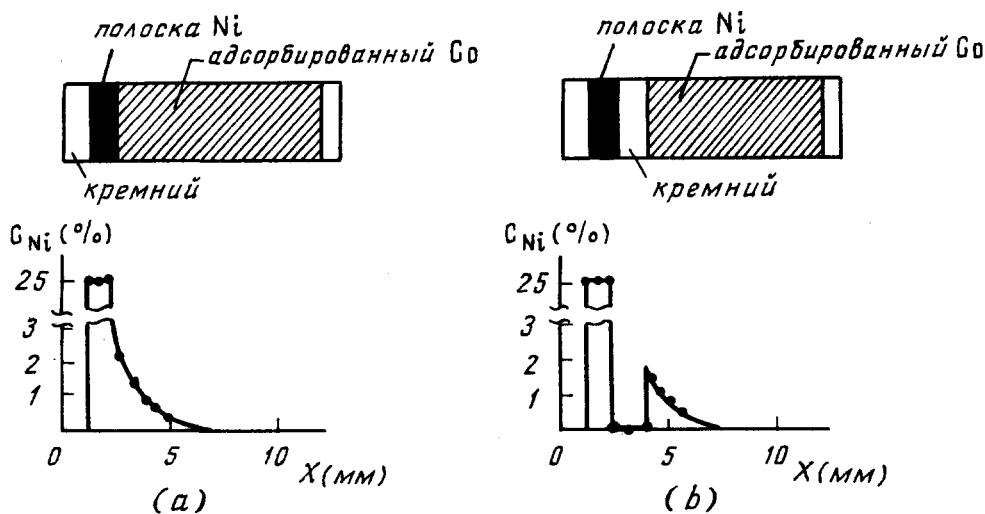


Схема эксперимента. Вверху – схема образца: а) полоска никеля нанесена на поверхность кремния с адсорбированным Co; б) источник никеля расположен на некотором расстоянии от участка с адсорбционным покрытием. Внизу – вид соответствующих распределений поверхностной концентрации никеля C_{Ni} , x – расстояние от края полоски никеля

Для того чтобы решить, какой из этих механизмов имеет место, нами было проделано следующее. На чистую поверхность образца со структурой Si(111)–7 × 7 наносилось покрытие Co величиной 0.4 монослоя и напылялась полоска Ni с резкой границей, служившая источником диффузии атомов Ni. В одних экспериментах граница полоски Ni находилась на участке поверхности с адсорбированным Co (рис. а), в других экспериментах эта полоска наносилась на расстоянии 1.5 мм от края области с адсорбционным покрытием Co (рис. б). Сделано это было с помощью коллимации атомных пучков. Затем образцы прогревались при температуре 640°C, при которой

перенос Ni на чистой поверхности Si не регистрируется. Методом ЭОС были измерены распределения концентрации никеля C_{Ni} вдоль образца, вид которых показан на рисунках а и б. Если бы диффузия Ni шла по поверхности, то в эксперименте по схеме рисунка б распределения концентрации Ni не должны были бы наблюдаться, так как при температуре 640°C атомы Ni не смогли бы преодолеть расстояние между полоской Ni и участком с адсорбированным Co. Следовательно, перенос Ni на поверхности Si с адсорбированным Co обусловлен его диффузией через объем и сегрегацией на поверхность, которая происходит в процессе отжига образца. Этим объясняется возможность регистрации Ni на поверхности Si в процессе диффузии методом ЭОС.

Вклад описанного механизма в перенос Ni уменьшается с увеличением температуры. Никель удавалось регистрировать на поверхности Si с адсорбированными атомами металлов при температурах до 900°C, но выше 700°C основной вклад в перенос Ni на таких поверхностях вносит тот же механизм, что и на чистой поверхности Si, то есть диффузия Ni через объем Si и его сегрегация на поверхность при снижении температуры.

Таким образом, при температурах ниже 700°C перенос Ni вдоль поверхности Si с адсорбированными атомами Co осуществляется с помощью механизма, в основе которого лежит диффузия атомов Ni через объем Si и их сегрегация на поверхность Si во время процесса диффузии. Из результатов экспериментов можно также сделать вывод, что нижняя температура, при которой наблюдается перенос Ni на чистых поверхностях Si определяется не количеством диффундирующего через объем Ni, а коэффициентом его сегрегации на поверхность.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант # 98-02-17843) и Государственной научно-технической программы "Поверхностные атомные структуры" (проект # 2.2.99).

-
1. Б.И.Болтак, *Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках*, Л.: Наука, 1972.
 2. Я.Е.Гегузин и Ю.С.Кагановский, *Диффузионные процессы на поверхности кристалла*, М.: Энергоиздат, 1984.
 3. А.Е.Долбак, В.З.Олшанетский, С.И.Стенин et al., *Surface Sci.* **218**, 37 (1989).
 4. Eicke R. Weber, *Appl. Phys.* **A30**, 1 (1983).
 5. А.Е.Долбак, В.З.Олшанецкий, С.А.Тийс и др., *Письма в ЖЭТФ* **66**, 611 (1997).
 6. А.Е.Долбак, В.З.Олшанетский, and R.A.Zhachuk, *Phys. of Low-Dimensional Struct.* **9/10**, 97 (1998).