

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДАТОМА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ (001) В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМИГРАЦИИ

Родикова Е.Е.^{1,2}, Ситников С.В.¹, Латышев А.В.^{1,2}

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия,

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия,
todyakina@isp.nsc.ru

В термодинамическом отношении процессы диффузии, взаимодействия атомов и вакансий с атомами кислорода и азота и с другими атомами в кристаллах являются взаимодополняющими. Это обусловлено взаимодействием физических процессов конденсации и диффузии. Взаимодействие процессов конденсации и диффузии на поверхности и границах зерен, а также электронных свойств наноструктур от совершенства поверхности и границ зерен зависит. Таким образом, процессы, влияющие на диффузию атомов, могут быть вызваны взаимодействием физических процессов, влияющих на диффузию атомов, вызывающих дрейф атомов и диффузию атомов. При протекании через образец кремния электрического тока возникает дрейф атомов, действующий на диффундирующий атом и вызывающий дрейф атомов. Таким образом, дрейф атомов, действующий на диффундирующий атом, пропорционален электрическому полю с коэффициентом пропорциональности называемым эффективным зарядом атома [1]. Определение дрейфа атомов при высоких температурах ($>900^{\circ}\text{C}$) затруднено, но определение дрейфа атомов при низких температурах ($<900^{\circ}\text{C}$) возможно по смещению профиля концентрации атомов на террасе. Таким образом, дрейф атомов можно измерить.

содержания концентрации адатомов становятся существенными (достоверно измеренная концентрация адатомов становится сопоставимой с концентрацией адатомов в объеме кристалла). В данной работе использовались специально созданные широкие террасы (ширина $5-10 \text{ мкм}$) для *in situ* изучения дрейфа адатомов во внешнем электрическом поле. Прямая визуализация адатомов при высоких температурах не возможна, поэтому для измерения концентрации можно по взаимодействиям с террасой и атомами ступеней [4]. В соответствии с классическими представлениями о процессах зародышеобразования наиболее вероятным местом зарождения стабильного двумерного островка является область с наибольшей концентрацией частиц [3]. В данном случае – вакансий, с которыми в областях, в которых определяется баланс двух процессов: их формирования на поверхности и аннигиляции с адатомами. Поэтому наиболее вероятное место зарождения стабильного островка при сублимации будет в области наименьшей концентрации адатомов. В нашей работе методом *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии исследованы процессы зарождения вакансионных островков в центре больших террас в условиях электромиграции и сублимации при температурах $1400-1450^\circ\text{C}$ на поверхности кремния (001). Обнаружено смещение центра зарождения островков в направлении противоположном направлению приложенного поля. Из сравнения экспериментальных данных с теоретической моделью установлено, что положение адатомов определяет сдвижение минимума в профиле концентрации адатомов по террасе на величину 10^4 атомов на 1 см^2 . Проведенная оценка эффективного заряда адатомов по величине смещения составляет 0.235 элементарного заряда электрона при температуре 1450°C и 0.4 при 1400°C .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-32-60199 «Синтез, перфузия и десорбция платины и ее комплексов с органическими лигандами»).

416(1-2), 200 (1998).

Journal of Polymer Science, 416(1-2), 200 (1998).

1. Uchaykina, S. S. Kosolobov, A. V. Latyshev. JETP Lett., 94(2), 147 (2011).

63

ВЛИЯНИЕ СТОКА АДАТОВ В СТУПЕНИ
НА ДВУМЕРНО-ОСТРОВКОВОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ
Si(111)-(7x7) ПРИ ОСАЖДЕНИИ Si И Ge

Петров А. С.¹ Рогинко Л. И.¹ Шеглов Д. В.¹ Латышев А. В.^{1,2}

¹ Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия.

²Новосибирский государственный университет,

Новосибирск, Россия,

alexey.petrov@isp.nsc.ru

Методом *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии исследованы процессы зарождения двумерных островков на начальных стадиях роста Si(111) и Ge вблизи монокристаллических ступеней и в центральных областях атомно-гладких террас шириной до 10 мкм вдали от ступеней на поверхности $\text{Si(111)-(7\times7)}$. Измерены зависимость концентрации двумерных островков в центральных областях террас (N_{2D}) и ширины зоны объединения по двумерным островкам вблизи ступеней (W) от скорости осаждения R и температуры подложки T в интервале 500–750°C. Показано, что W не зависит от кристаллографической ориентации ступеней на поверхности. В результате аппроксимации экспериментальных зависимостей $W^{-2}(R, T)$ и $N_{2D}(R, T)$ функцией вида $R \propto \exp(E_{2D}/kT)$ определены эффективная энергия активации двумерно-островкового зарождения E_{2D} и показатель масштабирования χ , анализ которых проводился в рамках атомистической теории скоростей зародышеобразования [1].

Экспериментально полученные значения показателя масштабирования χ для двумерно-островкового зарождения $\text{Si/Si}(111)$ возрастают от $\chi \approx 0.57$ в центральных областях террас до $\chi \approx 0.92$ вблизи ступеней. В рамках атомистической теории [1] такие значения χ соответствуют кинетике двумерно-островкового зарождения, лимитированной встраиванием атомов в ступень, и увеличению размера критического зародыша с $i \approx 1$ в центральных областях террас до $i \approx 3$ вблизи ступеней, соответственно. Увеличение размера критического зародыша вблизи ступеней объясняется взаимодействием атомов с моноатомными ступенями, являющимися для них эффективными стоками. Однако в случае двумерно-островкового зарождения $\text{Ge/Si}(111)$, значения показателя масштабирования *уменьшаются* от $\chi \approx 1.05$ в центральных областях террас до $\chi \approx 0.7$ вблизи ступеней. Такое поведение χ соответствует переходу кинетики зарождения двумерных островков от лимитированной встраиванием атомов в ступень в центральных областях террас к лимитированной поверхностной диффузией вблизи ступеней. Данный переход связан с высокой концентрацией изломов ступеней, которая способствует эффективному стоку атомов в них и понижает концентрацию атомов вблизи ступеней. Кроме того, такое снижение концентрации атомов приводит к дестабилизации зародышей двумерных островков вблизи ступеней, что выражается в увеличении размера длишей двумерных островков.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-02-00518) с использованием оборудования ЦКП «Наноструктуры».

1. D. Kandel, *Phys. Rev. Lett.*, **1997**, *78*, 499–502.