Кинетика разрастания двумерных островков на широких террасах поверхности кремния (001) при сублимации

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

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

DOI 10.34077/Semicond2019-73

В основе метода молекулярно-лучевой эпитаксии лежат фундаментальные знания об атомных процессах на поверхности при сублимации, эпитаксиальном росте, взаимодействии с газовой атмосферой и электромиграции. Исследование явления электромиграции адсорбированных атомов (адатомов) на поверхности полупроводников является актуальной задачей для физики конденсированного состояния из-за критического влияния на распределение атомных ступеней при отжиге подложек путем пропускания электрического тока. Недавно было показано, что под действием электрического тока происходит смещение двумерных островков и вакансионных островков (углублений в одно межплоскостное расстояние) на террасах Si(100) с шириной, сравнимой с длиной диффузии адатомов, и проведена оценка эффективного заряда адатомов [1]. Подобное исследование при температуре выше 850°C, когда существенной становится десорбция атомов с поверхности, приводящая к исчезновению двумерных островков или разрастанию вакансионных островков, затрудняет анализ экспериментальных результатов.

В данной работе изучалось поведение ступеней, при ширине террас сравнимой с длиной диффузии адатомов при температурах выше 1000°C [2]. Исследования выполнялись *in situ* методом сверхвысоковакуумной отражательной электронной микроскопии, который позволяет визуализировать морфологию поверхности кристалла кремния вплоть до отдельных атомных ступеней в процессах сублимации и эпитаксиального роста. Проведены исследования кинетики разрастания вакансионного островка на широкой террасе поверхности Si(100) при сублимации в условиях нагрева образца переменным электрическим током (рис.1а). Обнаружено, что на начальных стадиях разрастания островки имеют форму в виде эллипса, вытянутого вдоль димерных рядов, а на поздних стадиях роста островок принимает круглую форму. Показано, что это связано с наличием различного барьера для перехода атомов из состояния адсорбции на ступени в состояние адсорбции на выше или ниже лежащей террасе. Исследовалось движение атомных ступеней в условиях нагрева образца постоянным электрическим током (рис.1б). Показано, что разница в скоростях движения ступеней возникает за счёт влияния дополнительного потока адатомов вдоль поверхности, возникающего из-за явления электромиграции адатомов. Обнаружено попарное объединение ступеней, при этом тип сверхструктуры террасы внутри пары зависит от направления электрического тока. Определено, что знак эффективного заряда адатома на поверхности положителен и проведена оценка его величины при 1000°C.

Рис.1. – Система ступеней, разделенных широкими террасами, при нагреве переменным (а) и постоянным (б) электрическим током. Красными стрелками указаны ступени, белыми – пары ступеней.

форму в виде эллипса, вытянутого вдоль димерных рядов, а на поздних стадиях роста островок принимает круглую форму. Показано, что это связано с наличием различного барьера для перехода атомов из состояния адсорбции на ступени в состояние адсорбции на выше или ниже лежащей террасе. Исследовалось движение атомных ступеней в условиях нагрева образца постоянным электрическим током (рис.1б). Показано, что разница в скоростях движения ступеней возникает за счёт влияния дополнительного потока адатомов вдоль поверхности, возникающего из-за явления электромиграции адатомов. Обнаружено попарное объединение ступеней, при этом тип сверхструктуры террасы внутри пары зависит от направления электрического тока. Определено, что знак эффективного заряда адатома на поверхности положителен и проведена оценка его величины при 1000°C.

Исследования выполнены за счёт гранта РНФ (проект № 19-72-30023).

[1] S. Curiotto et al., *Appl. Surf. Sci.*, **469**, 463 (2019).

[2] S. Sitnikov et al., *Surf. Sci.*, **633**, L1 (2015).