Морфологические исследования графеноподобного слоя Si_3N_3 на поверхности Si(111)

Мансуров В.Г.¹, Галицын Ю.Г.¹, Малин Т.В.¹, Милахин Д.С.¹, Тийс С.А.¹, Журавлев К.С.^{1,2}

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

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

DOI 10.34077/Semicond2019-381

На начальных этапах нитридации чистой поверхности Si(111) возникает структура (8x8). Ранее нами была детально исследована кинетика образования структуры (8x8) методом RHEED, проведены HRTEM исследования, а также методом СТМ/СТС мы исследовали атомное и электронное строение структуры (8x8) [1-3]. Хотя господствующей моделью структуры (8x8) является реконструированная поверхность тонкого кристалла $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ с адсорбированным азотом, нами было показано, что структура (8x8) является графеноподобным слоем $\text{g-Si}_3\text{N}_3$. В предложенной нами модели $\text{g-Si}_3\text{N}_3$ состоит из сотовой структуры и упорядоченной адсорбционной фазы кремния на ней. В данной работе мы исследовали механизм образования островков $\text{g-Si}_3\text{N}_3$ методами RHEED и СТМ/СТС.

В ранее предложенных моделях предполагалась ключевая роль термической диффузии компонентов к центрам кристаллообразования нитрида кремния $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ [4]. При таком механизме зародышеобразования должна была бы проявляться существенная температурная зависимость скорости образования островков из-за необходимости преодолевать диффузионный барьер, а также активационный барьер при встраивании компонентов в узлы $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Однако наши экспериментальные данные показывают отсутствие температурной зависимости скорости образования структуры (8x8). Кроме того, в той же работе [4] считается, что островки нитрида кремния образуются в областях поверхности Si(111), которые растравлены активным азотом. Такая интерпретация возникла, поскольку островки нитрида кремния в изображениях СТМ, проявляются как более темные области. Однако, по нашему мнению, островки нитрида кремния образуются наверху поверхности кремния, а темный контраст возникает из-за влияния на туннельный ток низкой проводимости нитрида кремния (это хороший изолятор).

Мы рассматриваем образование островков $\text{g-Si}_3\text{N}_3$ как фазовый переход в рамках модели решеточного газа на поверхности Si(111). В этой модели, важную роль играет, так называемая, критическая концентрация заполненных ячеек решеточного газа, образующимися структурными единицами Si-N, при образовании островков $\text{g-Si}_3\text{N}_3$. Другими словами, критическая концентрация - это концентрация, при которой происходит переход газовой ветви в ветвь конденсированного состояния. Как мы показали, концентрация Si-N определяется концентрацией подвижных адатомов кремния при данной температуре поверхности Si(111). Концентрация подвижных адатомов кремния повышается с ростом температуры, теплота образования подвижных адатомов 1.7 эВ [1-3]. При относительно низких температурах (<800°C), то есть при низких концентрациях подвижных адатомов кремния, критическая концентрация Si-N возникает в областях малых размеров из-за флуктуаций концентрации подвижного кремния. Поэтому возникают островки $\text{g-Si}_3\text{N}_3$ малых размеров. При высоких температурах, т.е. при большой концентрации подвижных адатомов кремния, такой фазовый переход захватывает большие области поверхности, и возникают двумерные островки $\text{g-Si}_3\text{N}_3$ больших размеров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (гранты 17-02-00947, 18-52-00008)

[1] V.G.Mansurov, T.V.Malin, Yu.G.Galitsyn, et. al., *J. Cryst. Growth*, **441**, 12 (2016).

[2] В.Г.Мансуров, Ю. Г.Галицын, Т.В.Малин, и др., *ФТП*, **52**, 1407 (2018).

[3] V.G.Mansurov, Yu.G.Galitsyn, T.V.Malin, et. al., in *2D Materials*, IntechOpen, London (2018).

[4] S.Gangopadhyay, T. Schmidt, J. Falta, e-J. Surf. Sci. Nanotech., **4**, 84 (2006).