Термическое выглаживание и огрубление поверхности GaAs

Казанцев Д.М.^{1,2}, Ахундов И.О.¹, Кожухов А.С.¹, Шварц Н.Л.^{1,3},
Альперович В.Л.^{1,2}, Латышев А.В.^{1,2}

¹ ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13

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

³ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск,
пр. К. Маркса, 20

DOI 10.34077/Semicond2019-75

Атомно-гладкие поверхности кристаллов необходимы для научных исследований, а также создания наноструктур и полупроводниковых приборов. В работах [1,2] была разработана методика получения поверхностей GaAs с атомно-гладкими террасами при отжиге в условиях, близких к равновесию между кристаллом и парами мышьяка и галлия, когда не происходит ни роста, ни сублимации. Эта методика позволяет получать ступенчато-террасированные поверхности GaAs из подложек с малой исходной среднеквадратичной шероховатостью $\rho \sim 0.1 - 0.2$ нм. Для выглаживания подложек с большей шероховатостью необходимо увеличить температуру отжига, чтобы ускорить массоперенос на поверхности. Однако при высоких температурах $T \geq 700^\circ\text{C}$ происходит огрубление поверхности, которое вызвано отклонением условий отжига от равновесия в сторону роста или сублимации и состоит в разрушении регулярной ступенчато-террасированной морфологии, формировании островков или ямок более чем моноатомной высоты и глубины, а также эшелонировании ступеней [1]. В работе [3] термическое огрубление поверхности было объяснено обтеканием центров торможения движущимися ступенями. Переход от выглаживания поверхности к огрублению при повышении температуры связан с увеличением отклонения от равновесия с температурой. Задачи данной работы состоят в выяснении влияния эффекта Швёбеля на эшелонирование ступеней при огрублении и в поиске оптимального температурно-временного профиля отжига с учетом высокотемпературного огрубления.

Методики отжига GaAs и измерения рельефа поверхности с помощью атомно-силовой микроскопии описаны в [1,2]. Моделирование эволюции рельефа поверхности проводилось методом Монте-Карло в модели кристалла Косселя с параметрами (энергии активации поверхностной диффузии, латеральной связи, десорбции адатомов), определенными ранее из описания экспериментальной кинетики выглаживания [4]. Известно, что на поверхности без центров торможения ступеней, барьер Швёбеля приводит к эшелонированию ступеней при сублимации, и подавляет эшелонирование при росте. Моделирование показало, что в нашем случае введение барьера Швёбеля способствует образованию эшелонов, окаймляющих центры торможения, и при росте, и при сублимации кристалла. Этот эффект может быть объяснен ослаблением энтропийного отталкивания ступеней при подавлении переноса адатомов между ступенями. Проведена оптимизация температурно-временного профиля отжига. Идею такой оптимизации можно пояснить с помощью двухэтапного выглаживания. На первом этапе выглаживаются крупномасштабные шероховатости при высокой температуре в течение короткого времени, пока не началось эшелонирование ступеней и разрушение регулярной ступенчато-террасированной поверхности. На втором этапе, при более низкой температуре, выглаживаются мелкомасштабные неровности. В работе выполнена оптимизация отжигов с большим количеством этапов и с плавным изменением температуры. Рассмотрен вопрос о том, насколько небольшие отклонения от равновесия влияют на эффективность выглаживания поверхности.

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

[1] V.L. Alperovich, I.O. Akhundov et al., *Appl. Phys. Lett.* **94**, 101908 (2009).

[2] I.O. Akhundov, V.L. Alperovich et al., *Appl. Surf. Sci.* **269**, 2 (2013).

[3] D.M. Kazantsev, I.O. Akhundov, et al., *Semiconductors* **52**, 618 (2018).

[4] D.M. Kazantsev, I.O. Akhundov et al., *Appl. Surf. Sci.* **333**, 141 (2015).