Микроструктура нановключений AsSb в плазмонном метаматериале LTG-AlGaAsSb

Берт Н.А.¹, Чалдышев В.В.¹, Черкашин Н.А.², Неведомский В.Н.¹, Преображенский В.В.³,
Пулято М.А.³, Семягин Б.Р.³, Ушанов В.И.¹, Яговкина М.А.¹

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул, 26

² CEMES, CNRS and Université de Toulouse, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse Cedex 4, France 2

³ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

DOI 10.34077/Semicond2019-72

Оптические свойства ансамблей металлических наночастиц в диэлектрической матрице привлекают возрастающее внимание из-за перспектив их применения в плазмонике, оптоэлектронике, катализе и биомедицине [1]. Для ряда применений требуется, чтобы методы получения таких метаматериалов были совместимы со стандартной технологией полупроводниковой электроники. Одним из таких методов является низкотемпературная МПЭ, позволяющая получать нестехиометрические материалы на основе GaAs (LTG-GaAs), в которых при последующем отжиге формируются металлические нановключения [2]. В выращенном по такой технологии LTG-AlGaAsSb с хаотическим распределением включений AsSb в оптическом поглощении регистрировался плазмонный резонанс [3].

Объектом исследования являлись 1-мкм эпитаксиальные пленки $\text{Al}_{0.28}\text{Ga}_{0.72}\text{As}_{0.972}\text{Sb}_{0.028}$, полученные методом МПЭ на подложке GaAs(001) при 200°C и отожженные в течение 15 мин при 600°C или 750°C. Микроструктура полученных образцов исследовалась методами электронной микроскопии на приборе JEM-2100F и рентгеновской дифракции на установке Bruker D8 Discover.

Обнаружено, что нановключения наряду с As содержат неожиданно высокое содержание Sb (до

90%), несмотря на весьма низкую ее концентрацию в матрице. Микроструктура нановключений, сформированных при температурах отжига 600°C или 750°C радикально различалась, как можно видеть на Рис. 1.

Установлено, что при 750°C отжиге формируются нановключения $\text{As}_{0.1}\text{Sb}_{0.9}$ размером около 15 нм с ромбоэдрической микроструктурой A7, характерной для элементов V группы (As, Sb,

Bi) в нормальных условиях. Ориентационные соотношения их с матрицей соответствуют $(0003)_{\text{incl}} \parallel \{111\}_{\text{m}}$ и $[\bar{2}110]_{\text{incl}} \parallel \langle 110 \rangle_{\text{m}}$. Отжиг при 600°C имеет следствием формирование нановключений с признаками кубической фазы.

Обогащение нановключений AsSb сурьмой объясняется на основе фазовой диаграммы жидко-твердое системы Ga-As-Sb, а возможность их кристаллизации в кубической модификации обсуждается в рамках существования фаз высокого давления [4].

[1] *Fundamentals and Applications of Nanophotonics* (Ed. J.W. Haus), Elsevier (2016)

[2] M.R. Melloch et al., *Appl. Phys. Lett.* **57**, 1531 (1990)

[3] В.И. Ушанов и др. *ФТП*, **49**, 1635 (2015)

[4] H. Iwasaki and T. Kikegawa, *Acta Cryst.* **B53**, 353 (1997)

Рис.1. Картины дифракции электронов вдоль оси зоны [001] LTG-AlGaAsSb после отжига при 600°C (a) и 750°C (b) (стрелками отмечены рефлексы второй фазы)