Секция 10. Фотонные кристаллы, микрорезонаторы и метаматериалы. Нанопотоника

Сравнительный анализ люминесценции слоев n-Ge, выращенных на Ge(001) и Si(001) подложках

Новиков А.В., Юрасов Д.В., Байдакова Н.А., Бушуйкин П.А., Андреев Б.А., Алешкин В.Я., Юнин П.А., Яблонский А.Н., Красильник З.Ф.

ИФМ РАН, 603950, Нижний Новгород, Россия

DOI 10.34077/Semicond2019-409

Легированные донорами слои Ge, сформированные на Si, являются перспективным материалом кремниевой оптоэлектроники и плазмоники. Это связано с тем, что легирование донорами за счет роста заселенности электронных состояний в Г-долине позволяет увеличить эффективность излучательной рекомбинации носителей заряда в Ge. При этом установлено существенное различие спектров фотолюминесценции (ФЛ) эпитаксиальных n-Ge/Si(001) структур и объемного Ge, которое связывается с различными причинами [1]. Однако сравнение ФЛ n-Ge/Si слоев с ФЛ объемного Ge представляется не корректным из-за различий в толщинах, условий формирования и уровней их легирования. В настоящей работе для установления влияния на излучательные свойства слоев n-Ge концентрации доноров, упругих напряжений и дефектов впервые выполнены сравнительные исследования ФЛ легированных сурьмой слоев n-Ge, выращенных на Si(001) и Ge(001) подложках.

Слои Ge, легированные Sb, были выращены методом МПЭ. При росте гомоэпитаксиальных структур на Ge(001) подложках осаждение слоев Ge:Sb проводилось на тонком Ge буфере. В случае роста на Si(001) формирование слоев Ge:Sb было выполнено на 500 нм релаксированном Ge буфере с плотностью прорастающих дефектов $\sim 5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$ [2]. По данным ВИМС содержание Sb в слоях Ge:Sb, выращенных на различных подложках, варьировалось от $N_{\text{Sb}} \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Концентрация электронов, определенная из транспортных измерений, рентгенодифракционного анализа и спектров отражения [2] показала полную электрическую активацию примеси до $N_{\text{Sb}} = (7-8) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и ее падение до 50% для $N_{\text{Sb}} \sim 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Люминесцентные исследования, выполненные при комнатной температуре, показали, что при всех исследованных N_{Sb} в сигнал ФЛ слоев Ge:Sb/Ge(001), в отличие от слоев Ge:Sb/Si(001), значительный вклад дают непрямые оптические переходы (рис. 1). Данный факт связывается с большим временем жизни носителей заряда в гомоэпитаксиальных структурах Ge:Sb/Ge вследствие отсутствия в них дефектов кристаллической решетки, связанных с релаксацией упругих напряжений. Установлено, что значительное возрастание вклада прямых оптических переходов в общий сигнал ФЛ слоев Ge:Sb/Ge(001), наблюдаемое при увеличении N_{Sb} , вызвано ростом заселенности электронных состояний в Г-долине. Выявлено, что значительное влияние на излучательные свойства Ge:Sb слоев с частичной электрической активацией примеси, выращенных на различных подложках, оказывают центры безызлучательной рекомбинации, которыми могут являться кластеры примесных атомов. Расчеты зонной диаграммы Ge:Sb структур и моделирование их спектров ФЛ позволили выявить количественные изменения ширин прямой и непрямой запрещенных зон в Ge, вызванные эффектом их перенормировки при легировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 16-29-14056 и №18-02-00771).

[1] G. Grzybowski *et al.*, *Phys. Rev. B* **84**, 205307 (2011).

[2] D.V. Yurasov *et al.*, *J. Crystal Growth* **491**, 26 (2018).

Рис.1. – Спектры ФЛ Ge:Sb слоев с $N_{\text{Sb}} \sim 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, выращенных на Si и Ge подложках.