Исследование оптических и структурных свойств эпитаксиальных слоёв InAs(Sb,Ga), выращенных на подложках из InAs

А.А. Семакова^{1,2}, А.М. Смирнов¹, Н.Л. Баженов², **К.Д. Мынбаев^{1,2}**, А.В. Черняев^{2,3}, С.С. Кижаяев³,
Н.Д. Стоянов³

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Кронверкский 49

² ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26

³ ООО «Микросенсор Технолоджи», Санкт-Петербург, 194223, Курчатова 10

тел: +7 (812) 292-7182, факс: +7 (812) 247-1017, эл. почта: mynkad@mail.ioffe.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-111

Твердые растворы InAs(Sb) являются важными материалами для устройств, работающих в средневолновом (3-5 мкм) инфракрасном диапазоне [1]. В этом диапазоне лежат полосы поглощения, связанные с фундаментальными вращательными и колебательными резонансами большого числа технологически важных молекул, обнаружение которых требуется для решения задач зондирования атмосферы и контроля за окружающей средой, безопасности, обороны, энергоаудита, медицины, сельского хозяйства и т.д. [2]. Светодиоды с активной областью на основе InAs(Sb) уже применяются в устройствах, предназначенных для газоанализа, управления технологическими процессами, медицинской диагностики и т.д. Одной из важных задач, стоящих перед разработчиками этих устройств, является повышение их эффективности. Это особенно важно для длинноволновых ($\lambda > 5$ мкм) светодиодов, поскольку увеличение содержания сурьмы в эпитаксиальном слое InAsSb приводит к сильному рассогласованию параметров кристаллических решеток слоя и подложки. В настоящей работе мы сообщаем об исследовании оптических и структурных свойств эпитаксиальных пленок InAsSb с мольной долей InSb от 0 до 0.166, выращенных на подложке *n*-InAs, легированной до концентрации электронов $n \approx 2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и предназначенных для изготовления светодиодных структур. Для сравнения также исследовались свойства пленки $\text{Ga}_{0.24}\text{In}_{0.76}\text{As}_{0.78}\text{Sb}_{0.22}$; подобный материал может применяться для создания барьерного слоя в светодиодных гетероструктурах.

Номинально нелегированные пленки были выращены методом химического осаждения из газовой фазы в ООО «Микросенсор Технолоджи». Для изучения их свойств использовались стандартные для подобных исследований [3-5] методы: оптические свойства исследовались методами оптического пропускания (ОП) и фотолюминесценции (ФЛ), структурные свойства – методом рентгеновской дифракции. Спектры ОП записывались при 300 К с использованием спектрометра ФСМ2203. Спектры ФЛ регистрировались в интервале температур 4.2 - 300 К с использованием решеточного монохроматора МДР-23. Сигнал ФЛ возбуждался полупроводниковым лазером с длиной волны 1.03 мкм и регистрировался фотоприемником InSb. Для рентгеноструктурных исследований использовался дифрактометр ДРОН-8 в щелевой конфигурации с тонкофокусной рентгеновской трубкой с медным анодом и сцинтилляционным детектором NaI(Tl).

Результаты рентгеноструктурных исследований показали хорошее кристаллическое качество пленок. В спектрах дифракции наблюдались пики, которые можно было отнести к отражениям от кристаллографических плоскостей InAs (200), (400) и (600); кривые качания показали ожидаемое увеличение полуширины по мере возрастания мольной доли InSb в твердом растворе InAsSb. Спектры ОП также показали соответствующий сдвиг края пропускания при изменении состава твердого раствора. Исследования люминесценции, однако, выявили немонотонное поведение максимума спектров ФЛ с температурой для всех образцов, кроме эпитаксиального слоя InAs, что свидетельствовало о существенном влиянии подложки на оптические свойства наращиваемых эпитаксиальных слоёв. В докладе полученные результаты будут обобщены для анализа возможных путей повышения эффективности излучателей на основе твердых растворов InAsSb.

Литература

- [1] A. Rogalski, P. Martyniuk, M. Kopytko, P. Madejczyk, S. Krishna // *Sensors*. 2020. Т. 20. С. 7047.
- [2] D. Jung, S. Bank, M.L. Lee, D. Wasserman // *J. Opt.* 2017. Т. 19. С. 123001.
- [3] Z. Taghipour, V. Rogers, B. Ringel, A.W.K. Liu, J.M. Fastenau, D. Lubyshev, S.A. Nelson, S. Krishna // *J. Luminescence*. 2020. Т. 228. С. 117581.
- [4] J.C. Tong, Y.Y. Xie, P.N. Ni, Z.J. Xu, S.P. Qiu, L.Y.M. Tobing, D.H. Zhang // *Phys. Scr.* 2016. Т. 91. С. 115801.
- [5] P.T. Webster, N.A. Riordan, S. Liu, E.H. Steenberg, R.A. Synowicki, Y.H. Zhang, S.R. Johnson // *J. Appl. Phys.* 2015. Т. 118. С. 245706.