

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОЛСТЫХ СЛОЕВ НИТРИДА ГАЛЛИЯ, ВЫРАЩЕННЫХ ХЛОРИД-ГИДРИДНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ НА СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОДЛОЖКАХ

М.Г. Мынбаева^{1-3*}, А.И. Печников^{1,2}, А.Н. Смирнов³, Д.А. Кириленко^{1,3},
С.Ч. Рауфов¹, А.А. Ситникова³, М.А. Одноблюдов¹, В.Е. Бугров¹, К.Д. Мынбаев^{1,3},
В.И. Николаев¹⁻³, А.Е. Романов^{1,3}

¹Университет ИТМО, Кронверкский пр. 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия

²ООО «Совершенные кристаллы», Политехническая ул. 28, Санкт-Петербург, 194064, Россия

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Политехническая ул. 26, Санкт-Петербург, 194021, Россия

*e-mail: mgm@mail.ioffe.ru

Аннотация. Показана возможность использования подложек с колонной структурой для выращивания толстых слоев нитрида галлия со сниженным уровнем термоупругих напряжений и структурных дефектов. Выполнена углубленная характеристика слоев GaN, имевших толщину ~600 микрон, с применением просвечивающей электронной микроскопии и оптических методов: спектроскопии комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции. Полученные результаты показали, что выращенный эпитаксиальный материал имел хорошее качество с высокой однородностью свойств по площади образцов.

1. Введение

В настоящее время нитриды металлов III группы (III-N) стоят в ряду наиболее востребованных полупроводниковых материалов для создания высокоэффективных твердотельных источников света и приборов силовой и высокочастотной микроэлектроники. На современном этапе совершенствование технологий нитридных материалов направлено на достижение предельно возможных параметров светоизлучающих устройств и электронных приборов со сверхбыстрым переключением. Существующие проблемы технологии решаются с привлечением новых интеграционных подходов, основанных на совершенствовании методов синтеза с привлечением математического моделирования для анализа процессов дефектообразования в нитридных материалах, а также для изучения физических процессов в эпитаксиальных структурах и готовых приборных чипах. Одной из актуальных и не решенных в полной мере проблем остается получение высококачественных подложек из GaN с низкой плотностью дефектов, что является необходимым условием для создания высокоэффективных приборов на основе нитридов галлия, алюминия и индия. В настоящее время рост III-N материалов проводится в основном с использованием эпитаксии на неродственной подложке (гетероподложке), так как технологии синтеза объемного GaN еще недостаточно хорошо развиты для создания на их основе производства промышленного масштаба. Приборные структуры, за редким исключением, создаются различными методами эпитаксии на подложках из

- [2] M.O. Manasreh, *III-Nitride Semiconductors: Electrical, Structural and Defects Properties* (Elsevier, Amsterdam, 2000).
- [3] Z. Liliental-Weber // *Japanese Journal of Applied Physics* **53** (2014) 100205.
- [4] P.R Hageman, V. Kirilyuk, W.H.M. Corbeek, J.L. Weyher, B. Lucznik, M. Bockowski, S. Porowski, S. Müller // *Journal of Crystal Growth* **255** (2003) 241.
- [5] H. Aida, K. Koyama, D. Martin, K. Ikejiri, T. Aoyagi, M. Takeuchi, S.-W. Kim, H. Takeda, N. Aota, N. Grandjean // *Applied Physics Express* **6** (2013) 035502.
- [6] M. Weyers, E. Richter, Ch. Hennig, S. Hagedorn, T. Wernicke, G. Tränkle // *Proceedings of SPIE* **6910** (2008) 69100L.
- [7] M.G. Mynbaeva, A.I. Pechnikov, Sh.Sh. Sharofidinov, V.E. Bougrov, K.D. Mynbaev, S.I. Stepanov, M.A. Odnoblyudov, V.I. Nikolaev, A.E. Romanov // *Materials Physics and Mechanics* **22**(1) (2015) 30.
- [8] Sh.Sh. Sharofidinov, A.A. Golovatenko, I.P. Nikitina, N.V. Seredova, M.G. Mynbaeva, V.E. Bougrov, M.A. Odnobludov, S.I. Stepanov, V.I. Nikolaev // *Materials Physics and Mechanics* **22**(1) (2015) 53.
- [9] V.I. Nikolaev, A.I. Pechnikov, V.N. Maslov, A.A. Golovatenko, V.M. Krymov, S.I. Stepanov, N.K. Zhumashev, V.E. Bougrov, A.E. Romanov // *Materials Physics and Mechanics* **22**(1) (2015) 59.
- [10] S.K. Mathis, A.E. Romanov, L.F. Chen, G.E. Beltz, W. Pompe, J.S. Speck // *Journal of Crystal Growth* **231** (2001) 371.
- [11] V. Nikolaev, A. Golovatenko, M. Mynbaeva, I. Nikitina, N. Seredova, A. Pechnikov, V. Bougrov, M. Odnobludov // *Physica Status Solidi C* **11** (2014) 502.
- [12] M.G. Mynbaeva, A.V. Kremleva, D.A. Kirilenko, A.A. Sitnikova, A.I. Pechnikov, K.D. Mynbaev, V.I. Nikolaev, V.E. Bougrov, H. Lipsanen, A.E. Romanov // *Journal of Crystal Growth* **445** (2016) 30.
- [13] D. Artemiev, V. Bougrov, M. Odnoblyudov, A. Romanov // *Physica Status Solidi C* **10** (2013) 89.
- [14] Yu.V. Melnik, A.E. Nikolaev, S. Stepanov, I.P. Nikitina, K. Vassilevski, A. Ankudinov, Yu. Musikhin, V.A. Dmitriev // *Material Science Forum* **264–268** (1998) 1121.
- [15] J.A. Freitas Jr., M.A. Mastro, E.A. Imhoff, M.J. Tadjer, C.R. Eddy Jr., F.J. Kub // *Journal of Crystal Growth* **312** (2010) 2616.
- [16] H. Gu, G. Ren, T. Zhou, F. Tian, Y. Xu, Y. Zhang, M. Wang, Z. Zhang, D. Cai, J. Wang, K. Xu // *Journal of Alloys and Compounds* **674** (2016) 218.
- [17] C. Röder, F. Lipski, F. Habel, G. Leibiger, M. Abendroth, C. Himcinschi, J. Kortus // *Journal of Physics D: Applied Physics* **46** (2013) 285302.
- [18] V.Yu. Davydov, N.S. Averkiev, I.N. Goncharuk, D.K. Nelson, I.P. Nikitina, A.S. Polkovnikov, A.N. Smirnov, M.A. Jacobson, O.K. Semchinova // *Journal of Applied Physics* **82** (1997) 5097.
- [19] V.V. Emtsev, V.Yu. Davydov, V.V. Kozlovskii, V.V. Lundin, D.S. Poloskin, A.N. Smirnov, N.M. Schmidt, A.S. Usikov, J. Aderhold, H. Klausning, D. Mistele, T. Rotter, J. Stemmer, O. Semchinova, J. Graul // *Semiconductor Science and Technology* **15** (2000) 73.
- [20] B. Monemar, P.P. Paskov, J.P. Bergman, A.A. Toropov, T.V. Shubina, T. Malinauskas, A. Usui // *Physica Status Solidi B* **245** (2008) 1723.
- [21] M.A. Reshchikov, H. Morkoc // *Journal of Applied Physics* **97** (2005) 061301.
- [22] M. Reshchikov, A. Usikov, H. Helava, Yu. Makarov // *Journal of Electronic Materials* **44** (2015) 1281.