

Анализ полупроводниковых слоев AlN на подложке сапфира (0001) методом спектроскопии поверхностных поляритонов

Д.С. Милахин¹, Т.В. Малин¹, В.Г. Мансуров¹, К.С. Журавлев^{1,2}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, ул. Пирогова, 2
тел: +7 (383) 330-4475, эл. почта: dmilakhin@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCS2021-128

После успеха Исаму Акасаки, Хироси Аmano и Сюдзи Накамура в получении первого синего светодиода высокой яркости на основе полупроводниковых соединений А₃-нитридов на подложке сапфира, данные полупроводники рассматриваются как очень перспективная группа материалов для оптоэлектронных применений, таких как светоизлучающие диоды, лазерные диоды и УФ фотодетекторы. В связи с малой распространённостью и доступностью собственных подложек для эпитаксиального роста AlN, используются инородные подложки сапфира (Al₂O₃), Si и SiC. Сапфир является наиболее распространенной подложкой ввиду высокого кристаллического совершенства и низкой стоимости. Однако, из-за рассогласования периодов решеток AlN ($a_{\text{AlN}}=3,11\text{\AA}$) и подложки Al₂O₃ ($a_{\text{Al}_2\text{O}_3}=4,76\text{\AA}$), равного $(a_{\text{Al}_2\text{O}_3}-a_{\text{AlN}})/a_{\text{AlN}}=53,1\%$, эпитаксиальный рост AlN на сапфире сопровождается формированием поликристаллической структуры [1], в результате чего гетероструктуры получают низкого кристаллического качества. Для согласования слоев AlN с подложкой Al₂O₃ осуществляется процесс нитридации, заключающийся в экспонировании нагретой подложки в потоке активного азота. В результате на поверхности подложки формируется тонкий (1-3 нм) зародышевый слой AlN, кристаллическая ячейка которого располагается с поворотом на 30° относительно кристаллической ячейки Al₂O₃, что приводит к снижению эффективного рассогласования параметров решёток AlN и Al₂O₃ до 13%. Поскольку качество всех последующих слоев зависит от условий нитридации, нельзя переоценить важность этого процесса [1,2]. Структура зародышевых слоев AlN, полученных при разных условиях нитридации, должна быть тщательно качественно и количественно изучена. Для исследования тонкого зародышевого слоя AlN необходимы очень чувствительные методы. Для характеристики зародышевых и буферных слоев AlN, полученных на подложке Al₂O₃ методом аммиачной МЛЭ, были использованы методы инфракрасной (ИК) спектроскопии (ИК отражение и нарушенное полное внутреннее отражение (НПВО)).

Обнаружено, что ИК спектры отражения нитридованного сапфира практически совпадают со спектрами исходной сапфировой подложки. Спектр отражения буферного слоя AlN отличается от спектра сапфировых подложек наличием характерного минимума частоты 651 см⁻¹, соответствующего ТО-фононам. В методе НПВО часть падающего ИК излучения проникает в образец, активно взаимодействуя с оптическими фононами и образуя поверхностные поляритоны (ПП), и, в результате, поглощается в характеристических для образца длинах волн. Высокая чувствительность ПП позволяет наблюдать изменение спектров подложки даже после изменения параметров процесса нитридации. Сравнение спектров НПВО исходных и нитридованных сапфировых подложек указывает на появление минимума в точке 700 см⁻¹. При взаимодействии ИК излучения с фононами пленки AlN в области резонансных частот наблюдается расщепление закона дисперсии. Для сапфировых подложек, нитридованных в разных условиях, расщепление находилось в диапазоне 700-720 см⁻¹ ТО-частот.

Авторы выражают благодарность Н.Н. Новиковой и В.А. Яковлеву из Института спектроскопии РАН за проведение измерений методами ИК спектроскопии.

Работа выполнена в рамках государственного задания 0306-2019-00008 «Гетероструктуры на основе материалов А₃В₅ для СВЧ-электроники и СВЧ-фотоэлектроники».

Литература

- [1] D.S. Milakhin et al. // IEEE Xplore. 2020. Vol.1. P.14-18.
- [2] D.S. Milakhin et al. // JTAC. 2018. Vol.133, No.2. P.1099-1107.

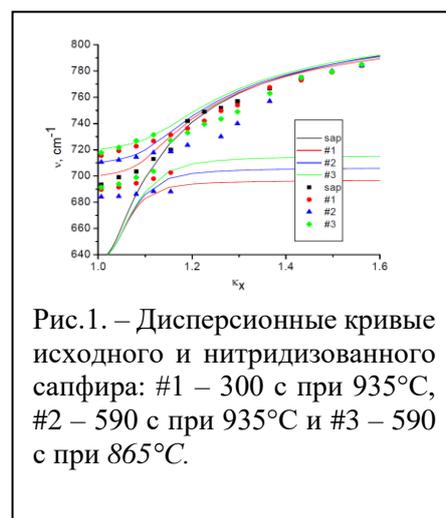


Рис.1. – Дисперсионные кривые исходного и нитридованного сапфира: #1 – 300 с при 935°C, #2 – 590 с при 935°C и #3 – 590 с при 865°C.