Влияние параметров структур $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ на эффективность теплопереноса**Чернодубов Д.А., Инюшкин А.В.***НИИЦ «Курчатовский институт», 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1*

DOI 10.34077/Semicond2019-188

Один из главных факторов, ограничивающих рабочую мощность полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов, в частности изготовленных на основе гетеропереходов $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$, это их значительный разогрев, возникающий при высокой плотности мощности. В настоящей работе представлены результаты измерений теплопроводности слоев, составляющих гетероструктуру $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$, и моделирования теплопереноса в такой структуре. При моделировании с использованием численных методов учитывали анизотропию теплопроводности и её зависимость от температуры при разных толщинах слоёв структуры, граничных тепловых сопротивлениях между слоями и размерах области нагрева.

Известно, что при относительно высокой теплопроводности как AlN , так и GaN , теплопроводность объемного разупорядоченного $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ может быть значительно меньше. А для тонких пленок субмикронной толщиной даже при комнатной температуре на величину теплопроводности существенное влияние оказывает рассеяние фононов на границе пленки, что делает интересным измерение теплопроводности слоёв, составляющих структуру. Значительное влияние на теплоперенос оказывают также величины толщины слоёв, размеры области нагрева и величина граничного теплового сопротивления между слоями структуры. В случае, когда область нагрева мала (единицы микрон и меньше), появляется возможность подобрать оптимальную толщину слоя GaN с точки зрения теплового сопротивления [1]. Если толщина слоя нитрида галлия слишком мала, то тепловой поток в ней распространяется в области с латеральными размерами сравнимыми с областью нагрева. Таким образом, тепловой поток, практически не узираясь, попадает на тонкий буферный слой со значительным тепловым сопротивлением, что приводит к его перегреву в области потока. С другой стороны, в случае слишком большой толщины слоя GaN тепловое сопротивление структуры определяется тепловым сопротивлением этого слоя. Таким образом, существуют оптимальные параметры структуры, которые обеспечивают ее максимальную тепловую эффективность.

Измерение теплопроводности структур $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ проведено методом 3-омега, детали которого приведены в работе [2]. Теплопроводность сапфировой подложки толщиной 0.4 мм в базальной плоскости определена методом продольного теплового потока, а в направлении оси c методом 3-омега. Структуры на сапфировой подложке создавались методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Общая толщина буферных слоев смешанного состава $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ составляла 580 нм, а толщина плёнки нитрида галлия – 1.5 мкм. Теплопроводность тонких пленок $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ и GaN измерена вдоль кристаллографической оси c . Измеренные величины теплопроводности сапфира хорошо согласуются с литературными данными для чистого монокристаллического сапфира. Теплопроводность буферных слоев структур оказалась почти на порядок величины меньше теплопроводности кристаллов AlN и GaN .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-07-00229) на оборудовании Ресурсного центра электрофизических методов исследования НИИЦ «Курчатовский институт».

[1] K. Park and C. Bayram, *Appl. Phys. Lett.* **109**, 151904 (2016).

[2] D.A. Chernodubov, A.V. Inyushkin, *Rev. Sci. Instrum.* **90**, 024904 (2019).