

Идентификация мелких доноров и центров окраски в монокристаллических подложках нитрида алюминия

В. А. Солтамов, И. В Ильин, А. А. Солтамова, Ю. Н. Макаров, Е. Н. Мохов, П. Г. Баранов

ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
тел: (812) 292-73-20, эл. почта: victor_soltamov@mail.ru

Номинально чистые кристаллы AlN имеют проводимость n-типа и характеризуются высоким сопротивлением, что обусловлено как наличием дефектов с глубокими уровнями, компенсирующими мелкие примеси, так и самокомпенсацией мелких доноров в силу особых физических свойств последних, приводящих к образованию глубоких уровней в результате релаксационных процессов (DX релаксация) [1, 2]. Наряду с оптимальными электрическими свойствами материала важно получение кристаллов оптически прозрачных, то есть выявление и подавление центров окраски, как это делалось на протяжении долгого времени при исследовании ионных диэлектрических кристаллов. Таким образом, важной прикладной задачей является с одной стороны найти примесь, позволяющую надежно получить n тип проводимости при комнатной температуре не подверженной DX релаксации, а с другой стороны, идентифицировать центры с глубокими уровнями, приводящие к ионизации донорной примеси, а также к появлению окраски кристаллов AlN, препятствующей их применению для оптоэлектроники. Именно решению этих задач и посвящена настоящая работа, в которой методы электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и оптические используются для идентификации мелких доноров и центров окраски в монокристаллических подложках AlN.

Исследовались несколько типов кристаллов AlN, выращенных сублимационным реконденсационным сэндвич методом (PVT) [3]. Цвет кристаллов заметно отличался, что обусловлено различными условиями роста.

Три типа мелких доноров, обозначенные нами как D1, D2 и D3, были идентифицированы в настоящей работе в кристаллах AlN, отличающиеся шириной линий ЭПР, обусловленной неразрешенными сверхтонкими взаимодействиями с лигандами, что позволило установить позицию примеси в решетке кристалла. Примеси, ответственные за создание D1 и D2 мелких доноров, которые мы идентифицируем как кислород и углерод, подвержены DX релаксации и, очевидно, не являются подходящими кандидатами для применений. Целый ряд работ посвящен выяснению пригодности примеси кремния для создания мелких доноров

в AlN. В литературе были приведены аргументы в пользу как DX релаксации мелких доноров на основе примеси кремния, так и приводились противоположные аргументы. При этом предполагалось, что спектры ЭПР, приписываемые примеси кремния, характеризуются чрезвычайно узкой линией ЭПР (менее 0.1 мТ) с изотропным g фактором. Эти спектры ЭПР ранее наблюдались только после оптического возбуждения при низкой температуре и затем при нагревании исчезали в области температур примерно 50 К. [4] В настоящей работе удалось наблюдать спектры ЭПР этих центров (обозначенных D3) при комнатной температуре без оптического возбуждения, таким образом, модель DX релаксации для D3 мелких доноров, обусловленных примесью кремния, может быть исключена из рассмотрения. Исследование оптических характеристик AlN, скоррелированных с ЭПР измерениями, показало, что наличие вакансий азота в нейтральном зарядовом состоянии приводит к появлению полосы поглощения с максимумом на длине волны $\lambda = 450$ нм. Используя метод термолюминесценции, была определена энергия активации этого уровня порядка 0.75 эВ.

Данная работа была поддержана Министерством Образования и Науки РФ (гос.контракты No. 14.740.11.0048, No. 14.740.11.0048). Программами Российской академии наук «Спин-зависимые эффекты в твердых телах и спинтроника», «Фундаментальные исследования нанотехнологий и наноматериалов», Российским фондом фундаментальных исследований по грантам No. 09-02-01409 и No. 09-02-00730.

Литература

1. C. G. Van de Walle, Phys. Rev. B 57, R2033 (1998).
2. S. B. Orlinskii et al., Phys. Rev. Lett. 100, 256404 (2008).
3. E.N. Mokhov et al., J. Cryst. Growth 281, 93 (2005).
4. R. Zeisel et al., Phys. Rev. B 61, R16283 (2000).