

Установление типов переходов, ответственных за фиолетовую полосу фотолюминесценции в сильно легированном AlN:Si

И.В. Осинных^{1,2}, Т.В.Малин¹, Д.С. Милахин¹, И.А. Александров¹, К.С. Журавлев^{1,2}

¹ *Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, 633090, пр. Лаврентьева, 13*

² *Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2
тел.: +7 (383)330-44-75, факс: +7 (383)333-27-71, эл. почта: igor-osinnykh@isp.nsc.ru*

DOI 10.34077/RCSP2021-121

Al_xGa_{1-x}N/GaN гетероструктуры являются перспективными для создания оптоэлектронных и мощных высокотемпературных силовых и СВЧ приборов. Светоизлучающих приборов видимой и ультрафиолетовой области спектра. Формирование эпитаксиальных слоев GaN и Al_xGa_{1-x}N с низким содержанием Al n- типа проводимости с использованием кремния (Si) в качестве донора не вызывает существенных трудностей, концентрация электронов может быть управляемо повышена до 10²⁰ см⁻³. Однако при легировании Al_xGa_{1-x}N с высоким содержанием Al (>0.6) и AlN происходит самокомпенсация кремния. Компенсирующими центрами являются отрицательно заряженные катионные вакансии (V_{III}) и их комплексы с мелкими донорами. Также высокий уровень легирования также приводят к появлению интенсивной широкополосной фотолюминесценции (ФЛ) в видимом спектральном диапазоне, которая наблюдалась в эпитаксиальных слоях Al_xGa_{1-x}N с массовой долей Al >0.6 при сильном легировании кремнием. В AlN максимум этой полосы находится около 3.2 эВ, считается, что она обусловлена переходами электронов на энергетические уровни комплексов V_{III}-nSi.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования фотолюминесценции серий сильнолегированных слоев AlN, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на сапфировых подложках, концентрация атомов кремния (N_{Si}) составляла 1.1×10²⁰ см⁻³. При измерении ФЛ в диапазоне температур 300-1000 К использовалось возбуждение 4-ой гармоникой импульсного Nd:YLF лазера (λ=263 нм, мощность 1 мВт, длительность импульса 7 нс). При измерении ФЛ в широком диапазоне генерации носителей заряда использовалась возбуждение 4-ой гармоникой стационарного YAG лазера (λ=266 нм), максимальная мощность составляла 65 мВт.

В спектрах ФЛ доминирует широкая фиолетовая полоса (V) с максимумом около 3.2 эВ, в спектре также присутствуют слабые оранжевая полоса (O) с максимумом при 2.2 эВ, красная полоса (R) с максимумом при 2.0 эВ и инфракрасная полоса (IR) с максимумом при 1.8 эВ. R полоса наблюдалась ранее в нелегированном AlN, предположительно она обусловлена переходами с уровня донора кислорода на акцептор V_{III}. O и IR полосы обусловлены рекомбинацией в сапфировой подложке. При повышении температуры до 990 К V полоса смещается в сторону низких энергий на 0,1 эВ, что существенно меньше уменьшения ширины запрещенной зоны 0.6 эВ, интенсивность падает на 2 порядка величины. Аппроксимация интенсивности V-полосы от температуры законом Аррениуса дает две энергии активации 20 мэВ и 750 мэВ. Эти энергии существенно меньше чем энергетические уровни комплексов V_{III}-nSi (более 2 эВ), и они объясняются в рамках модели конфигурационных координат. При уменьшении мощности возбуждения на 3 порядка V-полоса смещается в сторону низких энергий на 0,1 эВ интенсивность линейно уменьшается, ширина существенно не меняется. Линейная зависимость от мощности характерна для зона-акцепторной (eA) или внутрицентральной рекомбинации, однако в этих случаях ожидается постоянное положение полосы, в то время как красное смещение при уменьшении мощности характерно для донорно-акцепторной (DA) рекомбинации. Предположительно, наблюдаемая V-полоса состоит из двух широких полос, обусловленных DA и eA рекомбинацией, таким образом, со снижением мощности возбуждения вклад более низкоэнергетичной DA рекомбинации возрастает.