Влияние уровня легирования на «зеленую» люминесценцию сильно легированных слоев AlGa_{1-x}N:Si с содержанием алюминия выше 0.5

Осинных И.В., Малин Т.В., Журавлев К.С.

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

DOI 10.34077/Semicond2019-333

Нитриды металлов III группы и их твердые растворы являются прямозонными полупроводниками, перспективными для изготовления светоизлучающих приборов видимой и ультрафиолетовой области спектра. Формирование эпитаксиальных слоев GaN n- типа проводимости с использованием кремния (Si) в качестве донора не вызывает существенных трудностей, концентрация электронов может быть управляемо повышена до 10^{20} см^{-3} . Однако при легировании Al_xGa_{1-x}N происходит самокомпенсация кремния. Компенсирующими центрами являются отрицательно заряженные катионные вакансии (V_{III}). Предполагается, что вакансии или их комплексы также приводят к появлению интенсивной широкополосной люминесценции в видимом диапазоне спектра которая наблюдалась в эпитаксиальных слоях Al_xGa_{1-x}N с массовой долей Al при сильном легировании кремнием.

В данной работе представлены результаты определения энергетической структуры центров рекомбинации методом фотолюминесцентной (ФЛ) спектроскопии. Объектом исследований стали слои Al_xGa_{1-x}N толщиной 1.2 мкм, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на сапфировых подложках. Содержание алюминия (x) в слоях составило 0.62. Концентрация атомов кремния менялась в пределах $5 \times 10^{19} - 3.0 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. ФЛ в диапазоне температур 5-1200 К возбуждалась He-Cd лазером (длина волны $\lambda=325 \text{ нм}$) и 4-ой гармоникой импульсного Nd:YLF лазера ($\lambda=263 \text{ нм}$). Анализ температурной зависимости интенсивности ФЛ и энергетического положения полос возбуждения ФЛ проводился с использованием модели конфигурационных координат.

При концентрациях кремния около 10^{19} см^{-3} спектры ФЛ содержат полосы краевой ультрафиолетовой (УФ) люминесценции, исследуемую видимую ФЛ, а также паразитную УФ ФЛ, связанную с переходами через другие дефекты. При заданном содержании Al энергетическое положение максимума видимой полосы ФЛ составляет 520 нм. Повышение концентрации кремния до $1.1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ приводит к доминированию видимой полосы ФЛ и подавлению конкурирующих полос. Данная полоса ФЛ обусловлена донорно-акцепторными переходами. Показано, что акцепторами являются центры компенсации кремния. В рамках модели конфигурационных координат из температурного уширения полосы ФЛ была получена оценка энергий локальных фононов и их количества, а также активационной энергии внутреннего тушения люминесценции и глубины залегания акцепторного уровня. Критерий сильного легирования не достигается для Al_xGa_{1-x}N с концентрацией кремния до $3.0 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, однако происходит трансформация донорно-акцепторных переходов при увеличении концентрации кремния.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-52-00008, 17-02-00947).