

Диагностика фоторезистивных и светоизлучающих элементов методом НТ.

П.С.Вергелес, Е.Б.Якимов

Для определения электрических свойств фоторезистивных и светоизлучающих элементов важно знать или уметь оценивать такие параметры как диффузионная длина неравновесных носителей заряда или скорость поверхностной рекомбинации. Одним из таких методов является метод наведенного тока (НТ). Исследовались два типа структур: фоторезистивные структуры на основе CdHgTe и светоизлучающие структуры на основе квантовых ям (КЯ) InGaN/GaN.

1. Метод НТ широко используется для характеристики барьерных структур. Однако данный метод практически не применяется для исследований фоторезистивных структур, т.к. этот метод в фоторезистивных структурах имеет особенности по сравнению с традиционным применением метода НТ: к фоторезистивным структурам необходимо прикладывать электрическое поле. Фоторезисторные структуры на основе CdHgTe широко используются для производства детекторов в диапазонах 3-5 и 8-12 мкм. Этот материал достаточно легко деградирует, что проявляется в падении фоточувствительности элемента. Поэтому важно понимать причины деградации и обнаруживать центры с повышенной скоростью рекомбинации носителей. Исследования фотоэлементов проводились при приложении ± 50 мВ на контакты, температура, при которой проводились исследования, была равна 90К, энергия и ток пучка были равны 35кВ и 10^{-10} А соответственно. Фоточувствительный элемент изготавливался из $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \approx 0,22$) n-типа проводимости толщиной 5–7 мкм с размерами 50×50 мкм². Элементы покрывались многослойной диэлектрической пленкой суммарной толщиной ~ 1.5 мкм. Проведенные исследования позволили обнаружить разницу в распределении чувствительности в не деградировавших и в деградировавших фотоэлементах (Рис.1). Из приведенных картинок видны значительные отличия между хорошим и плохим элементами. В хорошем элементе максимум НТ (центр светлого пятна) смещен вдоль направления приложения электрического поля к положительному электроду. В деградировавшем фотоэлементе максимум чувствительности практически не смещается, и вблизи контактов появилась слабо чувствительная область. Для хороших и плохих элементов рассчитывались одномерные профили распределения чувствительности, которые сравнивались с экспериментальными профилями вдоль приложенного электрического поля. Из сравнения расчетных и экспериментальных профилей были оценены диффузионная длина и скорость поверхностной рекомбинации, а для деградировавших элементов было установлено, что вблизи контактов повышается концентрация доноров, что приводит к падению чувствительности в этих областях. Исследования показали, что метод НТ в фоторезистивных структурах на основе CdHgTe позволяет достигать латерального разрешения порядка 10 мкм, что, в свою очередь, позволяет выявлять процессы деградации.

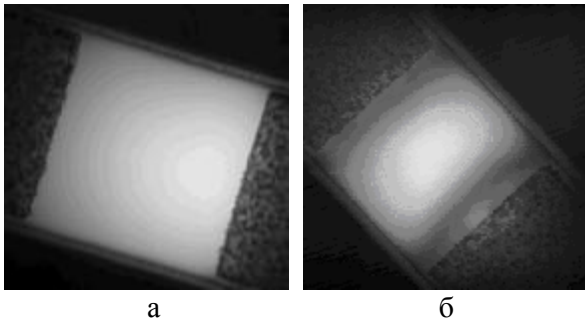


Рис. 1 Изображение ФЧЭ в режимах НТ при напряжении +50 мВ на правом контакте: а – однородного. (размер изображения 70×70 мкм²), б – деградировавшего (размер изображения 84×84 мкм²).

2. Светоизлучающие структуры состояли из нижнего слоя n^+ -GaN, толщиной 3 мкм, легированного кремнием ($N_d \sim 5 \cdot 10^{18}$ см⁻³), на котором были выращены буферная сверхрешетка GaN/InGaN с низким (<10%) содержанием In, активный слой, содержащий КЯ (3 нм InGaN и 12 нм GaN) и верхнего слоя p^+ -GaN толщиной порядка 0.1 мкм, легированного

Mg до концентрации порядка 10^{20}см^{-3} . Выращивание проводилось методом MOCVD на сапфире с ориентацией (0001). Исследовались структуры с 3 и 5 КЯ.

Протяженные дефекты, проникающие в активный слой светоизлучающей структуры, влияют на туннелирование через барьеры и рекомбинацию носителей заряда, но механизмы влияния таких дефектов на рекомбинационные процессы полностью не изучены. Поэтому исследование свойств таких дефектов в светоизлучающих структурах представляет большой интерес.

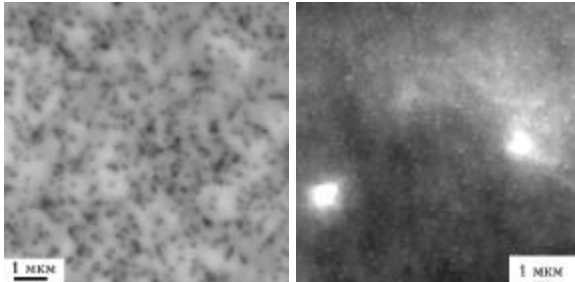


Рис.2. Изображения светоизлучающих структур на основе GaN в режиме НТ (а – изображение образца с 3 КЯ, б – с 5 КЯ).

образцах с 5 КЯ были впервые обнаружены дефекты, дающие светлый контраст в режиме НТ (Рис.2б). Один тип дефектов давал светлый контраст в виде маленьких светлых точек. Второй тип дефектов имел значительно больший размер по сравнению с первым типом и связанный с ними контраст достигал 50%. Плотность маленьких светлых дефектов составляла $10^8\text{-}10^9\text{ см}^{-2}$, плотность больших светлых дефектов не превышала 10^5 см^{-2} .

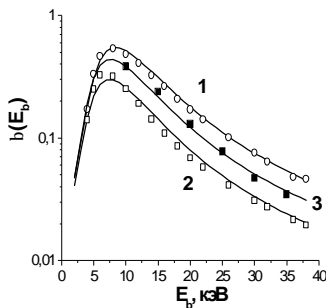


Рис.3. Экспериментальные (точки) и моделированные (линии) зависимости НТ для структур с 3 (1) и 5 (2) квантовыми ямами и структуры с 5 КЯ в области большого дефекта (3).

проводимости.

Для больших светлых дефектов исследовалась также зависимость контраста от величины тока пучка (уровня возбуждения), который варьировался в пределах $10^{-10} - 10^{-8}$ А. Было обнаружено, что контраст этих дефектов падает при повышении уровня возбуждения, что можно объяснить в предположении, что заряд дефекта уменьшается с уровнем инжекции, что, в свою очередь, уменьшает его влияние на процессы туннелирования.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить каналы повышенной проводимости поперек активного слоя. Каналы с малым светлым контрастом могут быть связаны с проникающими дислокациями, а каналы с большим контрастом со скоплениями дислокаций или с микропапами.

Структурные дефекты в эпитаксиальных пленках GaN в режиме НТ обычно дают темный контраст из-за локального повышения скорости рекомбинации. На рис.2а в режиме НТ на образце с 3 КЯ видны темные дефекты размером около 0.1-0.2 мкм и плотностью около 10^9 см^{-2} . Зависимость ширины изображения этих дефектов от энергии пучка E_b была похожа на соответствующую зависимость для проникающих дислокаций в эпитаксиальных пленках GaN, что позволяет связать обнаруженные дефекты с дислокациями. В

Для выяснения природы светлого контраста были проведены дополнительные исследования. На рис.3 приведены зависимости НТ от энергии пучка E_b для обеих структур. Падение сигнала на структурах с 5 КЯ можно объяснить тем, что в структурах с 3 КЯ ямы находятся глубоко в ОПЗ, из-за чего они опустошены и в них не происходит рекомбинации носителей заряда, а в образцах с 5 КЯ часть ям находится в области слабого поля и в них происходит рекомбинация носителей заряда. Высокая величина контраста изображения больших светлых дефектов позволила с достаточной точностью построить зависимость НТ от энергии пучка E_b для них (кривая 3). Расположение кривой 3 и неизменность спада при больших энергиях пучка означает, что вблизи большого дефекта локально увеличивается вероятность туннелирования носителей заряда через барьер, т.е. появляются каналы повышенной