

06.3;12

Переключающее устройство на гетероструктуре ZnTe–GaN

© А.Г. Дрижук, В.Г. Сидоров, Д.В. Сидоров, М.Д. Шагалов

Вологодский политехнический институт

Поступило в Редакцию 27 июня 1997 г.

На основе светодиодной $M-i-n$ -GaN-структуры при нанесении на нее слоя ZnTe изготовлено бистабильное устройство, в котором переключение осуществляется внешним импульсом напряжения, а устойчивые состояния запоминаются цветом излучения. Приведены характеристики устройства и принцип его работы.

Пожалуй, основными элементами в системах автоматики являются переключающие устройства и приборы, сигнализирующие о состоянии этих устройств. Предлагаемый в настоящей работе переключатель совмещает эти функции в одном приборе (рис. 1). Он состоит из трехслойной структуры нитрида галлия, выращенной на сапфировой подложке. Методом газофазной эпитаксии в хлоридно-гидридной системе. Буферный слой нелегированного n -GaN выращивался при 1050°C со скоростью роста $\sim 20 \mu\text{m/h}$, что обеспечивало ему и вышележащим слоям высокое кристаллическое совершенство. Толщина слоя $(10-20) \mu\text{m}$, удельная электропроводимость $\sim 10^3 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Затем при температуре 950°C последовательно выращивались: слой нитрида галлия, легированного цинком и кислородом одновременно, и слой нитрида галлия, легированного только цинком. Слои имели следующие параметры: $(0.3-3) \mu\text{m}$ и $(10^3-10^5) \Omega \cdot \text{cm}$; $(0.05-0.5) \mu\text{m}$ и $(10^5-10^7) \Omega \cdot \text{cm}$ соответственно. Полное сопротивление подбиралось так, чтобы сопротивление слоя i -GaN(Zn) было примерно на порядок больше сопротивления i^+ -GaN(Zn,O)-слоя.

Такая $M-i$ -GaN(Zn)- i^+ -GaN(Zn,O)- n -GaN структура является светодиодом, излучающим голубой свет (максимум излучения лежит при 2.55 eV), если к M контакту i -GaN(Zn) слоя подведен отрицательный потенциал от источника постоянного напряжения [1]. При такой полярности напряжения электроны в сильном электрическом поле

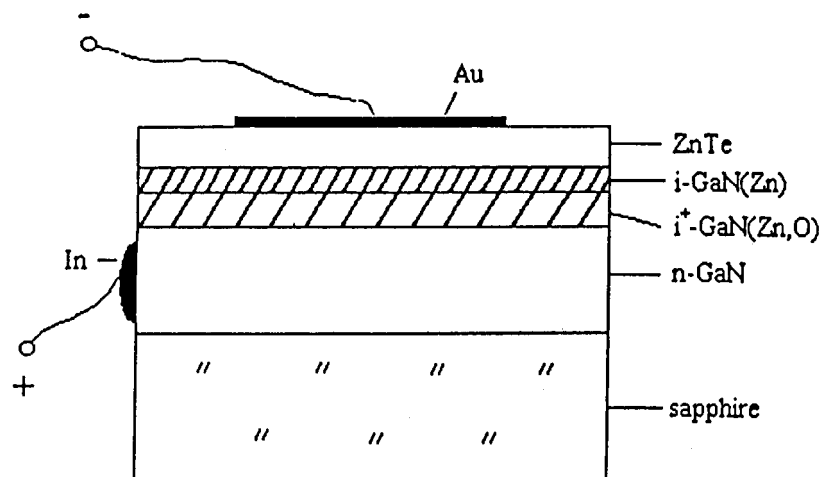


Рис. 1. Структура переключающего устройства ZnTe-GaN.

i -GaN(Zn) слоя ускоряются до энергий, достаточных для возбуждения излучательных Zn-O-центров, находящихся в следующем i^+ -GaN(Zn,O) слое.

Для изготовления переключающего устройства на поверхности i -GaN(Zn) слоя светодиодной структуры выращивался из паровой фазы в квазизамкнутом объеме слой высокоомного теллурида цинка [2]. Толщина слоя составляла $(1-5) \mu\text{m}$, полное сопротивление на порядок и более превосходило полное сопротивление i -GaN(Zn) слоя. Контакт к ZnTe изготавливался из золота, напыленного в вакууме, контакт к n -GaN слою — из индия.

Созданная таким способом гетероструктура M-ZnTe- i -GaN(Zn)- i^+ -GaN(Zn,O)- n -GaN-M может работать как устройство с переключением из высокоомного состояния в низкоомное и запоминанием устойчивых состояний цветом излучения. Принцип работы состоит в следующем. При некотором малом рабочем напряжении устройство находится в высокоомном состоянии. Почти все напряжение, приложенное к гетероструктуре, падает на более высокоомном слое ZnTe, где в сильном электрическом поле возбуждается оранжевая электролюминесценция с максимумом $\sim 2 \text{eV}$. Ширина запрещенной зоны ZnTe при 300 K равна

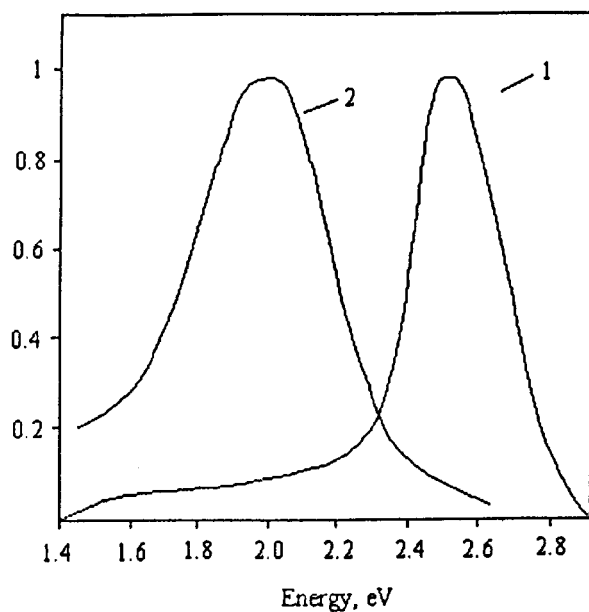


Рис. 2. Спектральные характеристики электролюминесценции гетероструктуры ZnTe–GaN в низкоомном (1) и высокоомном (2) состояниях. Спектры нормированы на единицу.

2.26 eV. Дополнительный импульс, увеличивающий полное напряжение на структуре выше порогового, соответствующего пороговой напряженности электрического поля в слое ZnTe ($>10^5$ V/cm), вызывает в ZnTe обратимый локальный электрический пробой. Это приводит к уменьшению сопротивления слоя ZnTe, а значит, и сопротивления всей структуры. Напряжение переключения составляет 5–15 V и определяется электрическими и геометрическими параметрами слоя ZnTe. В низкоомном состоянии напряжение в структуре перераспределяется от ZnTe к слою *i*-GaN(Zn). При этом в случае отрицательного потенциала от источника напряжения на слое ZnTe возгорается голубая электролюминесценция светодиода. Излучение светодиода, возбуждая фотопроводимость в слое ZnTe, еще больше уменьшает его сопротивление. Возникшая положительная обратная связь приводит к резкому

росту тока через светодиод, росту интенсивности электролюминесценции и переключению устройства в еще более низкоомное состояние. Вольт-амперная характеристика имеет S-образную форму. Спектральные характеристики излучения переключающего устройства в низкоомном и высокоомном состояниях представлены на рис. 2. Интенсивность голубой электролюминесценции на порядок и более выше оранжевой. При противоположной полярности напряжения на гетероструктуре ("плюс" на ZnTe) наблюдается переключение только за счет пробоя в слое ZnTe, так как при этом голубая электролюминесценция в светодиоде не возбуждается. Для создания переключающего устройства, работающего при любой полярности напряжения, можно использовать любую из светодиодных структур на основе GaN, предложенных в работе [3]. Эти светодиоды состоят из последовательно расположенных слоев $i\text{-GaN}(\text{Zn})\text{-}i^+\text{-GaN}(\text{Zn},\text{O})\text{-}i\text{-GaN}(\text{Zn})\text{-}i^+\text{-GaN}(\text{Zn},\text{O})$ и работают при любой полярности напряжения.

Высокоомное состояние устройства можно восстановить отключением напряжения питания. При внешнем освещении белым светом с ростом его интенсивности уменьшается напряжение переключения устройства в низкоомное состояние. Аналогично действует повышение температуры. Время переключения составляет $0.2\text{--}0.5\ \mu\text{s}$ при освещении и $\sim 1\ \mu\text{s}$ в темноте.

Работа выполнена при частичной поддержке Аризонского университета (США).

Список литературы

- [1] Дрижук А.Г., Зайцев М.В., Сидоров В.Г., Сидоров Д.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22 (6). С. 67–71.
- [2] Радауцан С.И., Цуркан А.Е., Шемякова Т.Д. // Тез. докл. IV Симпозиума по процессам роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок. Новосибирск. 1975. С. 93.
- [3] Дрижук А.Г., Зайцев М.В., Сидоров В.Г., Сидоров Д.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22 (13). С. 33–36.