

06.2;06.3;07

©1995

УЗКОПОЛОСНЫЕ ИК ФОТОДИОДЫ (1.0–1.2 МКМ) НА НАПРЯЖЕННЫХ СЕЛЕКТИВНЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ GaAs/InGaAs

Л.М.Канская, А.Ю.Куликов

Для создания чувствительных быстродействующих фотодиодов (ФД) на диапазон длин волн 1.0–1.2 мкм может быть использована система тройных твердых растворов InGaAs [1–3], обладающая некоторыми потенциальными, электрофизическими и технологическими преимуществами перед системой InGaAsP.

При использовании в качестве подложки GaAs величина рассогласования параметров кристаллических решеток между GaAs и твердым раствором с соответствующей шириной запрещенной зоны составит примерно 1%. Критическая толщина напряженных InGaAs когерентных (без дислокаций несоответствия) слоев при таком рассогласовании не превышает 300Å [4]. В то же время для эффективного поглощения света толщина активного узкозонного слоя не должна быть менее двух обратных величин коэффициента поглощения, т. е. около 2 мкм. Несколько большую величину должна иметь область пространственного заряда (ОПЗ), чему соответствует концентрация свободных носителей на уровне 10^{15}см^{-3} . То есть гетероструктуры InGaAs/GaAs для $p-i-n$ ФД принципиально не могут не содержать дислокаций несоответствия.

В данной работе предпринята попытка реализовать достоинства системы InGaAs и минимизировать негативное влияние механических напряжений путем их уменьшения и локализации в пассивных областях структур за счет сочетания селективного эпитаксиального роста пленок и формирования активной зоны в малонапряженной области между близкими по составу буферными слоями. Кроме того, такая геометрия структур дает возможность сформировать узкую спектральную полосу чувствительности ФД к ИК излучению и варьировать в некоторых пределах положение ее максимума. Функцией ширины этого пика является отношение сигнал/шум (при монохроматическом сигнале), которое для узкополосных ФД может достигать высоких значений уже при комнатной температуре.

В быстродействующих $p-i-n$ ФД геометрические размеры минимизируют таким образом, чтобы время нарастания и релаксации фототока за счет RC цепочки не превышало времени пролета носителей заряда через i -слой. Кроме того, уменьшение размеров приборов приводит к снижению величины темнового генерационного тока. Оптимизированный таким образом размер ФД задает площадь незащищенных индивидуальных окон на подложке селективной эпитаксии. Частота повторения окон определяется по максимальной допустимой величине изгибающих напряжений для подложки в целом.

В настоящей работе экспериментально исследованы спектральные зависимости фототоков $p-i-n$ ФД от толщины ближайшего к подложке буферного слоя InGaAs , имеющего малое рассогласование параметров решетки с активным слоем InGaAs . Структуры ФД представляют собой пятислойные композиции (рис. 1), полученные методом газовой эпитаксии в открытой хлоридной системе на подложках GaAs n -типа, с ориентацией (100), разориентированных на $3-4^\circ$ в направлении (110), селективно маскированных SiO_2 пленкой:

- 1 — буфер GaAs , n -тип (10^{18} см^{-3}), толщина $D = 2.5-3$ мкм,
- 2 — буфер $\text{In}_{0.18}\text{GaAs}$, n -тип (10^{17} см^{-3}), $D = 0.1-2$ мкм,
- 3 — i -слой $\text{In}_{0.2}\text{GaAs}$, p -тип (10^{15} см^{-3}), $D = 1.0-2$ мкм,
- 4 — буфер $\text{In}_{0.18}\text{GaAs}$, p -тип (10^{17} см^{-3}), $D = 0.5$ мкм,
- 5 — контактный GaAs , p -тип (10^{18} см^{-3}), $D = 2.0$ мкм.

Средняя величина суммарных по подложке изгибающих механических напряжений (при их фиксированной степени релаксации) пропорциональна отношению площадей SiO_2/GaAs , которое составляло величину порядка 10.

Расчетное значение постоянной времени RC цепи для ФД площадью 10^{-4} см^2 с шириной ОПЗ около 2 мкм не превы-

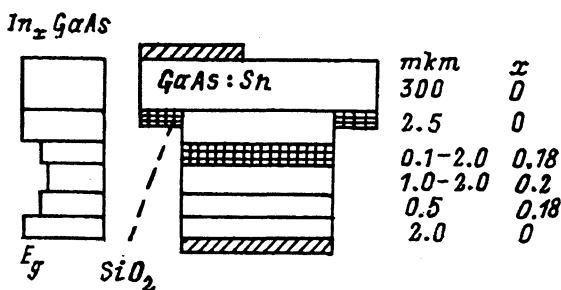


Рис. 1. Схема структуры фотодиодов. E_g — ширина запрещенной зоны, X — содержание In в InGaAs .

шает 50 пс при нагрузке 50 Ом. Время дрейфа носителей через такую ОПЗ в InGaAs со скоростью 10^5 см/с составляет величину 20 пс.

В эксперименте образцы освещались перпендикулярно слоям со стороны подложки. Спектральные кривые фотоответа измерялись при комнатной температуре с помощью монохроматора МДР-2 стандартным методом синхронного детектирования. Источником света служила галогенная лампа накаливания.

Буферные слои InGaAs предназначены для пространственного отделения активной области поглощения света и разделения носителей заряда с несовершенной областью формирования сеток дислокаций несоответствия на границах с GaAs. Кроме того, ближайший к подложке слой InGaAs поглощает коротковолновое излучение за пределами ОПЗ, формируя тем самым узкий спектральный пик fotocувствительности ФД.

При увеличении этого слоя от 0.1 до 2 мкм спектр фотоотклика ФД без внешнего электрического смещения имеет тенденцию к сужению и возрастанию амплитуды в своей узкозонной части. Такой рост амплитуды коррелирует с уменьшением тока утечки обратносмещенного $p-n$ перехода и связывается нами с увеличением расстояния i -слоя от границы GaAs-InGaAs (рис. 2).

Следует отметить, что при неселективном осаждении аналогичных структур в ФД на их основе наблюдаются бо-

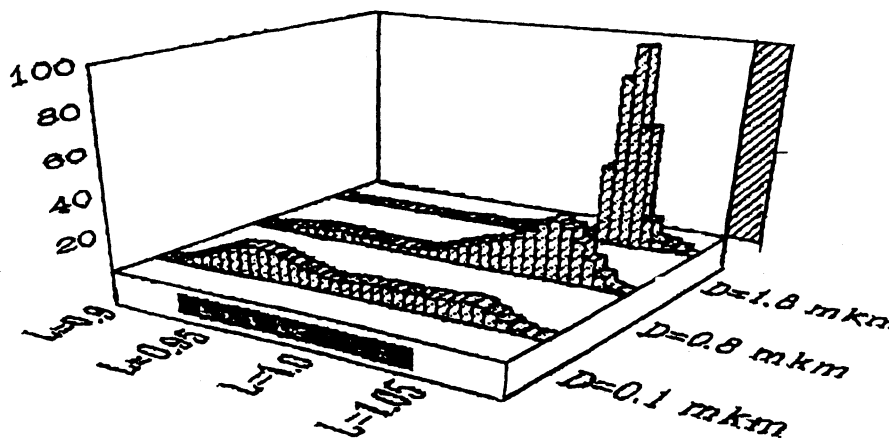


Рис. 2. Спектры fotocувствительности ФД при различных толщинах буферного слоя InGaAs.

лее высокие значения темнового тока (до $5 \cdot 10^{-6}$ против 10^{-7} А) на несмещенном $p-n$ переходе, что, очевидно, связано с более высокой плотностью центров термогенерации в ОПЗ. Кроме того, морфология слоев InGaAs с удельным атомным содержанием индия $x > 0.2$ и кривизна подложки становятся малопригодными для планарной технологии, в то время как на селективно выращенных структурах ($10^{-1} \times 10^{-1}$ мм) с $x < 0.4$ сохраняется зеркальная поверхность и удовлетворительный уровень изгибающих напряжений.

Совокупность принципов получения напряженных структур узкополосных ФД с максимумом чувствительности 1.05 мкм может быть экстраполирована на диапазон длин волн до 1.2 мкм, причем при сужении полосы чувствительности возрастает совершенство области локализации активного слоя.

В заключение авторы выражают признательность Ю.В. Жиляеву и В.В. Криволапчуку за интерес к работе.

Список литературы

- [1] InGaAs — photodiode Components // Phys. World. 1993. V. 6. N 6. P. 75.
- [2] Lester L.F., Hwang K.C. et al. // IEEE Photon. Technol. Lett. 1993. V. 5. N 5. P. 511-514.
- [3] Wada O., Nobuhara H. et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 1. P. 16-17.
- [4] Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. В кн.: Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников. М.: Металлургия, 1985. С. 21.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
8 декабря 1994 г.