

06.2;06.3;12

©1995

СПЕКТРЫ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ *p-i-n*-ДИОДОВ НА ОСНОВЕ НАПРЯЖЕННЫХ СВЕРХРЕШЕТОК Si-GeSi

Ю.Г.Садофьев

Квантово-размерные структуры на основе элементарных полупроводников интенсивно исследуются в последнее десятилетие [1-3]. Одной из привлекательных особенностей таких структур является возможность получения эффективных фотоприемников для длин волн излучения, лежащих за пределами области фундаментального поглощения кремния, а также перспективы повышения фоточувствительности вблизи "красной" границы полосы фундаментального поглощения кремния.

Нами методом эпитаксии из молекулярных пучков синтезированы напряженные сверхрешетки Si-Ge_xSi_{1-x} на кремнии ориентации (100) и (111). Выращивание образцов проведено на модифицированной отечественной установке для эпитаксии из молекулярных пучков УЭ.ПМА-12.5-001, укомплектованной электронно-лучевым испарителем с поворотом луча на 270° и тремя молекулярными источниками типа ячеек Кнудсена. Предельный уровень вакуума в установке $1 \cdot 10^{-8}$ Па. В ростовую камеру установки встроены электронный Оже-спектрометр, квадрупольный масс-спектрометр, дифрактометр быстрых электронов и кварцевый измеритель толщины пленок, снабженный индивидуальной заслонкой.

Испарение кремния марки КП-1 проводили из электронно-лучевого испарителя. Германий марки ГДГ-45, а также легирующие элементы — сурьму и оксид бора — испаряли из ячеек Кнудсена со стеклоуглеродными тиглями.

Процедура выращивания эпитаксиальной структуры включала в себя очистку поверхности подложки n^+ -Si (КЭС-001) от загрязнений в сверхвысоком вакууме, эпитаксиальное наращивание n^+ -Si (КЭС-001) от загрязнений в сверхвысоком вакууме, эпитаксиальное наращивание n^+ -Si (0.2 мкм) и буферного слоя легированного донорами твердого раствора Ge_ySi_{1-y} толщиной 0.5 мкм ($N_D = 5 \cdot 10^{18}$ см⁻³). Вслед за этим наращивали 20 периодов нелегированной напряженной сверхрешетки Si-Ge_xSi_{1-x} и слой p^+ -Si (0.2 мкм,

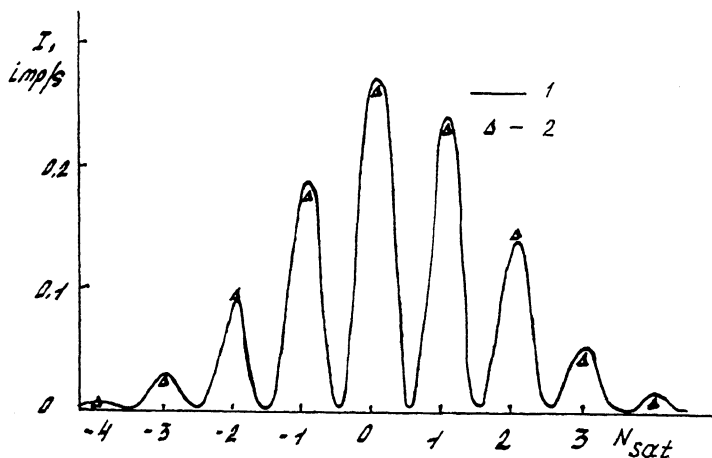


Рис. 1. Сравнение вида расчетного спектра рентгеновской дифракции напряженной сверхрешетки (1) и экспериментальных значений амплитуд пиков соответствующих спутников (2).

$N_A = 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$). При формировании сверхрешетки толщина кремниевых слоев составляла 30 нм. Толщину слоев твердого раствора изменяли в пределах 12–8 нм при увеличении молярной доли германия X от 0.3 до 0.5 соответственно. Температура подложки при эпитаксии 550° C , скорость роста слоев 0.15–0.25 нм/с. Содержание германия в буферном слое выбирали из соотношения $Y = 0.5X$.

На рис. 1 приведен вид расчетного спектра рентгеновской дифракции от сверхрешетки выращиваемой конфигурации в сопоставлении с экспериментальными значениями интенсивности рефлексов — спутников, обусловленных дифракцией на сверхрешетке. Близость расчетных и экспериментальных значений свидетельствует о высоком совершенстве слоев сверхрешетки и гетерограниц, а также точности выдержки периода сверхрешетки.

На базе полученных экспериментальных образцов были изготовлены мезадиоды с диаметром мезы 0.5 мм, кольцевым электродом на ее периферии и сплошной металлизацией тыльной стороны подложки. Спектральные зависимости фоточувствительности для образцов с различной молярной долей германия в слоях GeSi сверхрешетки при освещении вдоль оси роста приведены на рис. 2. Они отчетливо демонстрируют эффект смещения “красной” границы фоточувствительности в сторону больших длин волн по мере роста молярной доли германия в слоях твердого раствора

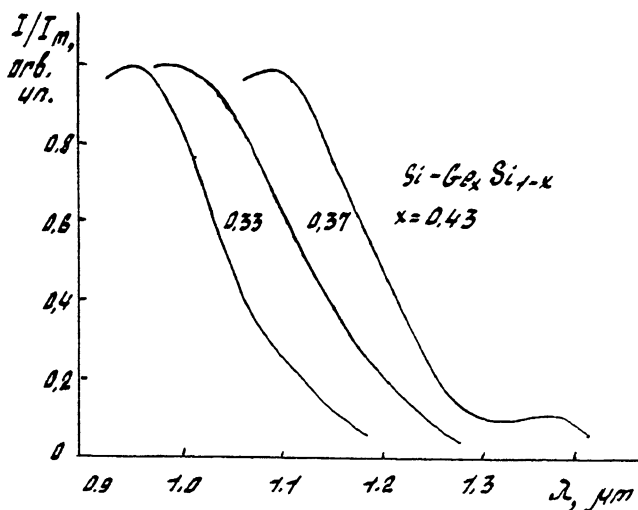


Рис. 2. Спектры фоточувствительности диодов с различным содержанием германия в слоях твердого раствора сверхрешетки.

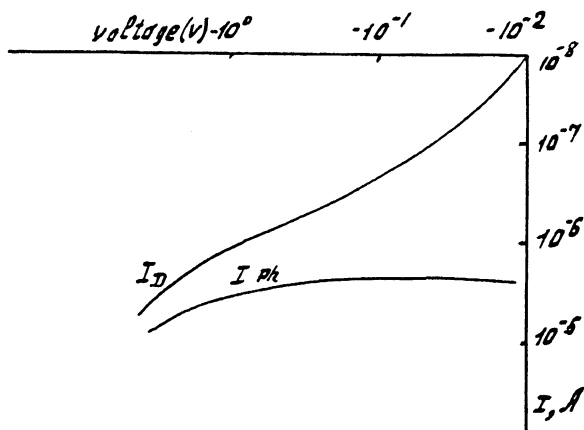


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики диода в темноте и при освещении.

сверхрешетки. При величине $X = 0.4$ максимум фотоотклика наблюдается в представляющей практический интерес области 1.02–1.06 мкм, а порог fotocувствительности имеет место при длине волны 1.4 мкм.

Измерение абсолютных значений fotocувствительности показало, что в максимуме полосы поглощения амперваттная чувствительность достигает уровня 0.6–0.75 А/Вт, что близко к теоретическим значениям для данных длин волн.

Различие коэффициентов лавинного умножения электронов и дырок в кремнии позволяет рассчитывать на наличие внутреннего усиления фототока в изготовленном диоде. На рис. 3 приведены вольт-амперные характеристики диода в темноте и при освещении, демонстрирующие наличие эффекта лавинного умножения электронов. Отсутствие насыщения темнового тока обусловлено, по-видимому, утечками по периферии мезаструктуры, не имевшей защитного покрытия. Кроме того, на величину обратного тока могут влиять относительно высокий $((1 - 3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3})$ уровень неконтролируемого легирования германия, сопровождающий испарение из тигельного источника [4], а также наличие прорастающих через толщу сверхрешетки дислокаций. Плотность последних, по нашим оценкам, превышает 10^5 см^{-2} . По указанным выше причинам уровень амперваттной чувствительности описываемых в данном сообщении приборов несколько ниже значений, достигнутых ранее в работах [5,6].

Таким образом, в $p-i-n$ -диодах на основе напряженных сверхрешеток Si-GeSi на кремнии получен эффект смещения спектра fotocувствительности в ИК область по сравнению с кремниевыми приборами, при сохранении высокого уровня fotocувствительности. Дальнейшее повышение характеристик приборов возможно при снижении уровня неконтролируемого легирования, концентрации структурных дефектов, оптимизации конструкции диода и методов ввода излучения в базовую область.

В заключение автор выражает признательность Г.Н. Семеновой и В.Н. Шерстяковой за помощь в проведении исследований образцов.

Список литературы

- [1] Bean J.C. // Proc. IEEE. 1992. V. 80. P. 571–587.
- [2] Prsting H., Kibbel H., Jaros M. et al. // Semicond. Sci. Technol. 1992. V. 7. P. 1127–1148.
- [3] Bean J.C., Feldman L.C., Fiori A.T. et al. // J. Vac. Sci. Technol. 1984. V. A2. P. 436–440.

- [4] Садофьев Ю.Г. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 9. С. 5-10.
- [5] Temkin H., Pearsall T.P., Bean J.C. et al. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. P. 538-540.
- [6] Pearsall T.P., Temkin H., Bean J.C., Luryi S. // IEEE Electron. Device Lett. V. EDL-7. P. 330-332.

Научно-исследовательский
технологический институт
Рязань

Поступило в Редакцию
10 декабря 1994 г.