

©1994 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР InP/InGaAs МЕТОДОМ ФОТОЭДС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

А.В.Пашук, Т.А.Фурсенко

Научно-исследовательский институт «Электрон», 194233, Санкт-Петербург, Россия

(Получена 24 ноября 1993 г. Принята к печати 7 декабря 1993 г.)

Проведены спектральные исследования гетероструктур InP/InGaAs, имеющих разную толщину поверхностного эпитаксиального слоя InP, методом фотоэдс с использованием органических жидкостей. Получена экспериментальная зависимость указанной толщины от отношения значений фотоэдс в разных участках спектра. Рассмотрены физические механизмы происходящих процессов и возможность применения метода для определения толщины поверхностного эпитаксиального слоя у других гетероструктур.

Ранее в работах [1-5] был описан метод, основанный на измерении спектральной зависимости фотоэдс, возникающей в структуре полупроводник-жидкость. Использование в указанном методе жидкости увеличивало величину фотоэдс в структуре на 1-2 порядка по сравнению с фотоэдс в структуре полупроводник-газ, что значительно повышало чувствительность метода и облегчало измерения [4]. Описанный метод с применением воды [1,2] или с применением органической жидкости [3-5] используется для определения диффузионной длины неосновных носителей L и ширины запрещенной зоны полупроводников E_g .

В данной работе были проведены спектральные исследования фотоэдс при контакте жидкостей с полупроводниковыми гетероструктурами InP/InGaAs с целью возможности использования метода для определения толщины поверхностного эпитаксиального слоя InP неразрушающим способом. Использование для этой цели метода эллипсометрии было связано с трудоемкой интерпретацией результатов измерений, достоверность которой резко уменьшалась при толщине слоя InP более 0.5 мкм. Для исследований использовались гетероструктуры p -InP/ p^+ -In_{0.53}Ga_{0.47}As, выращенные на подложках p^+ -InP в атомной плоскости (100) методом газофазной эпитаксии ($E_g(\text{InP}) = 1.35$ эВ, $E_g(\text{InGaAs}) = 0.75$ эВ). Концентрация дырок в эпитаксиальных слоях InP, InGaAs и подложке составляла при комнатной температуре

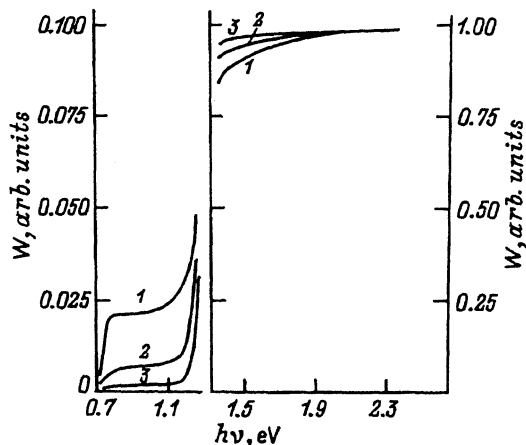


Рис. 1. Спектральные зависимости фотоэдс в структуре $p\text{-InP}/p^+\text{-In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ — органическая жидкость. d , мкм: 1 — 0.5, 2 — 1, 3 — 2.

$(1-3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $8 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $(6-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Толщина слоя InGaAs составляла 2–3 мкм, толщина поверхностного эпитаксиального слоя InP была в диапазоне от 0.3 до 3.5 мкм.

В качестве жидкости были использованы изопропиловый и этиловый спирты. Их применение было тем, что они в отличие от электролитов не вызывают электрохимического травления поверхности полупроводника, т.е. ее разрушения, и применимы в спектральном диапазоне при энергии квантов $h\nu > 0.5-0.6$ эВ, в то время как оптическое поглощение в электролите ограничивало спектральный диапазон, необходимый для измерений. Использование изопропилового и этилового спиртов было удобным и не исключало возможности применения других органических жидкостей [4].

Измерения фотоэдс проводились на установке с модулированным монохроматическим освещением. Модулированный свет проходил слой органической жидкости и поглощался в эпитаксиальной гетероструктуре, вызывая появление сигнала фотоэдс. Контакт гетероструктур с жидкостями проводился со стороны эпитаксиального слоя InP. Подробно методика измерений была описана ранее в работах [3,4].

Исследования спектральных зависимостей фотоэдс $U(h\nu)$ на гетероструктурах, имеющих различную толщину эпитаксиального слоя InP, выявили определенные закономерности и показали, что эти зависимости могут быть использованы для определения вышеназванной толщины. Спектральные зависимости фотоответа $W(h\nu) = U(h\nu)/F(h\nu)$ для гетероструктур с различной толщиной d слоя InP изображены на рис. 1, где $F(h\nu)$ — мощность светового потока. На рисунке видно, что величина фотоответа $W(h\nu)$ пропорциональна толщине d слоя InP при $h\nu = 1.4-1.7$ эВ и обратнопропорциональна этой толщине при $h\nu = 0.8-1.2$ эВ. На рис. 2 изображена зависимость d от отношения сигналов фотоответа $N = W(1.55)/W(1.1)$ в данных областях спектра, в частности при энергии квантов $h\nu = 1.55$ и 1.1 эВ. Значения данной кривой были получены путем определения толщины d слоя InP на ряде гетероструктур методом дозированного травления с известной скоростью и временем травления при одновременном измерении спектральной зависимости для каждой из толщин. Воспроизводимость значений кривой была главным образом связана с погрешностью определения d , равной 30%.

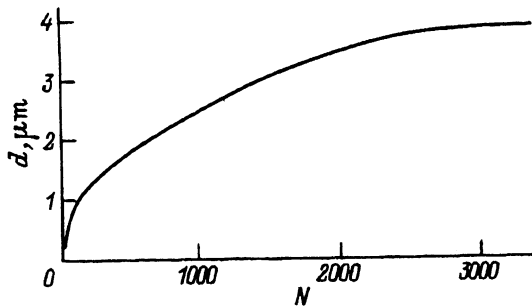


Рис. 2. Зависимости толщины d поверхностного эпитаксиального слоя p -InP гетероструктур p -InP/ p^+ -In_{0.53}Ga_{0.47}As от отношения сигналов фотоответа N при $h\nu = 1.55$ и 1.1 эВ.

Результаты данной работы могут быть качественно объяснены, исходя из того, что адсорбция молекул приводит к изменению энергетического уровня существующих поверхностных энергетических состояний (ПЭС) и их сечений захвата, а также к появлению новых ПЭС в запрещенной зоне полупроводника [6,7]. Генерируемые светом неосновные носители, в данном случае электроны, могут диффундировать из эпитаксиальных слоев InP и InGaAs к поверхности, на которой адсорбированы молекулы органической жидкости. Взаимодействие неосновных носителей с ПЭС приводит к изменению состояний адсорбции молекул, смещению адсорбционно-десорбционного равновесия, изменению заряда ПЭС и поверхностного электростатического потенциала, появлению сигнала фотоэдс. Диффузия электронов из эпитаксиальных слоев InP и InGaAs к поверхности возможно благодаря отсутствию потенциальных барьеров их движению в данных гетероструктурах, в этом случае сигнал фотоэдс имеет отрицательную полярность. Увеличение толщины эпитаксиального слоя InP приводит, с одной стороны, к увеличению вероятности поглощения им света и, следовательно, к увеличению сигнала фотоэдс при энергии квантов $h\nu \geq E_g(\text{InP})$, причем с увеличением энергии квантов вероятность поглощения их слоем InP растет и тем быстрее, чем он тоньше; с другой стороны — к уменьшению вероятности достижения поверхности электронами, генерированными в InGaAs, и, следовательно, к уменьшению сигнала фотоэдс при энергии квантов $E_g(\text{InGaAs}) \leq h\nu \leq E_g(\text{InP})$ (рис. 1). Таким образом, по величине сигналов фотоэдс, возникающих при генерации носителей в InP и InGaAs, можно судить о толщине d слоя InP. Использование для определения d величины отношения сигналов фотоответа N , в отличие от использования их абсолютных значений, позволяет избежать зависимости от множества факторов, таких как природа используемой жидкости, вид предварительной обработки поверхности образца, температура и др. [4], что делает определение d более простым и уменьшает его погрешность. Диапазон определяемых толщин составляет 0.3–3.5 мкм и связан с процессами поглощения света и диффузии к поверхности неосновных носителей.

Исходя из вышеизложенного, видно, что данный метод может быть использован для определения толщины поверхностного эпитаксиального слоя у аналогичных изотопных полупроводниковых гетероструктур, у которых возможны генерация светом носителей во внутреннем полупроводниковом слое и диффузия неосновных носителей из этого слоя в поверхностный слой и далее к границе раздела с жидкостью.

Список литературы

- [1] J.S. Escher, B.F. Williams. J. Appl. Phys., **44**, 525 (1973).
- [2] B.J. Baliga, R. Bhat, S.K. Ghandhi. J. Appl. Phys., **46**, 3941 (1975).
- [3] В.П. Денисов, А.В. Пашук. ПТЭ, № 1, 211 (1991).
- [4] В.П. Денисов, А.В. Пашук. ФТП, **25**, 1381 (1991).
- [5] А.с. № 1554681 СССР (1989).
- [6] А.В. Ржанов. Электронные процессы на поверхности полупроводников. М. (1971).
- [7] Ф.Ф. Волькенштейн. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. М. (1987).

Редактор В.В. Чалдышев
