

Полупроводниковые соединения GaInP, легированные изовалентной примесью Sb

© А.Ф. Скачков[†]

Открытое акционерное общество „Сатурн“,
350072 Краснодар, Россия

(Получена 31 июля 2014 г. Принята к печати 20 октября 2014 г.)

Получены методом МОС-гидридной эпитаксии на подложках GaAs и Ge слои GaInP_{1-x}Sb_x с различной концентрацией сурьмы. Проведены измерения подвижности носителей зарядов в слоях GaInP_{1-x}Sb_x при комнатной температуре и при 77 К. Проведены измерения подвижностей носителей зарядов при комнатной температуре в слоях GaInP_{1-x}Sb_x, дополнительно легированных донорной и акцепторной примесью. Проведено измерение пиков фотолюминесценции GaInP_{1-x}Sb_x. Определена зависимость влияния сурьмы на ширину запрещенной зоны GaInP и на подвижность носителей зарядов.

1. Введение

Влияние различных параметров роста на упорядочение и ширину запрещенной зоны GaInP хорошо изучено. Ширина запрещенной зоны GaInP зависит не только от температуры роста, но и от скорости роста, парциального давления PH₃, разориентации подложки от (100), а также уровня легирования. Поскольку процесс формирования эпитаксиального слоя GaInP является очень сложным и трудно прогнозируемым, существует несколько характеристик, которые можно выделить. Например, на подложках, которые имеют малую разориентацию относительно (100), ширина запрещенной зоны GaInP при неизменных иных параметрах роста будет ближе к 1.8 эВ, чем к 1.9 эВ. Используя экстремальные значения скорости роста, температуры или парциального давления фосфина, можно добиться приближения ширины запрещенной зоны GaInP к 1.9 эВ [1]. Однако при этом, как правило, наблюдается ухудшение других параметров материала, например, диффузионной длины неосновных носителей заряда, морфологии слоя, состава и т.д. Возможность изменения ширины запрещенной зоны соединения GaInP, без использования экстремальных значений параметров роста, позволила бы улучшить параметры многих полупроводниковых устройств.

В данной работе приведены результаты исследования влияния сурьмы на ширину запрещенной зоны GaInP, а также на подвижность носителей зарядов в слоях GaInP разного типа проводимости.

2. Оптико-электрические свойства соединений GaInP_{1-x}Sb_x, полученных методом МОС-гидридной эпитаксии

Примесь сурьмы по отношению к GaInP является изовалентной, т.е. не образует заряженных центров, что является весьма полезным свойством, так как при

легировании сурьмой не меняется тип проводимости основного материала GaInP [2].

Исследуемые образцы слоев GaInP_{1-x}Sb_x были получены методом МОС-гидридной эпитаксии в горизонтальном индуктивно нагреваемом реакторе при давлении 50 мбар. В качестве источников третьей группы использовались TMGa и TMIn. Источником пятой группы был PH₃, легирование осуществлялось следующими прекурсорами: TMSb, DMZn, SiH₄. Эпитаксиальный рост осуществлялся на подложках GaAs (100) и p-Ge (100) диаметром 100 мм, разориентированных на 6° в сторону <111>.

Для определения влияния концентрации сурьмы в материале GaInP_{1-x}Sb_x на ширину запрещенной зоны на подложках p-Ge и GaAs проводился рост слоев GaInP_{1-x}Sb_x с разным содержанием сурьмы без использования донорных или акцепторных примесей. Значения ширины запрещенной зоны исследуемых слоев GaInP_{1-x}Sb_x определялись по длинам волн пиков фотолюминесценции. На рис. 1 представлены результаты измерений.

Как видно из приведенных данных, добавление небольшого количества сурьмы позволило увеличить ширину запрещенной зоны GaInP. Данный эффект наиболее выражен для подложек Ge, на которых ширина запрещенной зоны увеличилась на 0.0713 эВ. При этом

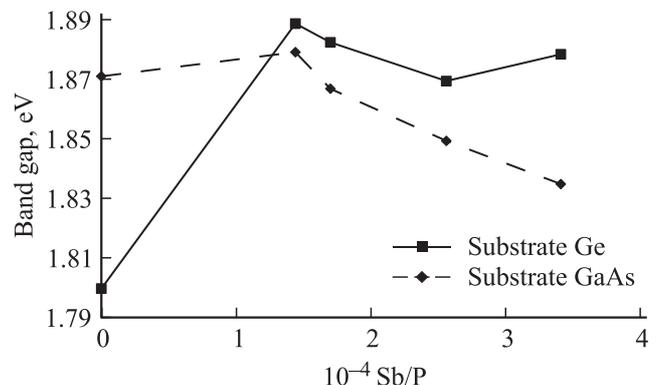


Рис. 1. Зависимость ширины запрещенной зоны GaInP:Sb от концентрации сурьмы.

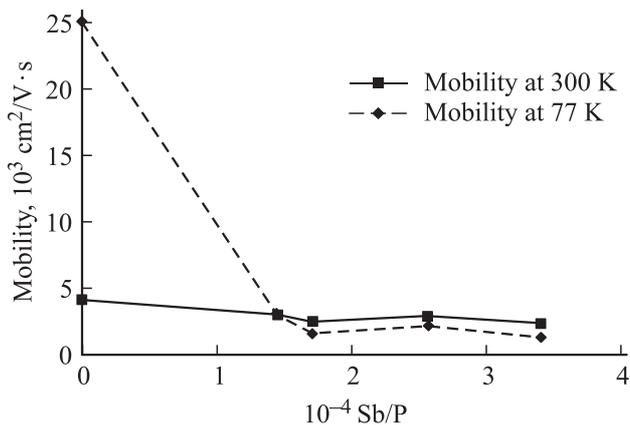
[†] E-mail: afskachkov@mail.ru

Таблица 1. Значения ширины запрещенной зоны и подвижности носителей зарядов в слоях GaInP_{1-x}Sb_x

Sb/P(x)	E_g -слоя GaInP _{1-x} Sb _x на подложках p-Ge, эВ	E_g -слоя GaInP _{1-x} Sb _x на подложках GaAs, эВ	Подвижность при 300 К, см ² /В·с	Подвижность при 77 К, см ² /В·с
0	1.7997	1.8710	4194	24970
$1.44 \cdot 10^{-4}$	1.8887	1.8791	3052	3068
$1.70 \cdot 10^{-4}$	1.8824	1.8668	2481	1576
$2.56 \cdot 10^{-4}$	1.8694	1.8493	2934	2262
$3.41 \cdot 10^{-4}$	1.8784	1.8348	2345	1362

Таблица 2. Подвижность носителей зарядов разного типа проводимости

	n-тип		p-тип	
	подвижность, см ² /В·с	подвижность, см ² /В·с	подвижность, см ² /В·с	подвижность, см ² /В·с
Концентрация, см ⁻³	$7.5 \cdot 10^{-17}$ см ⁻³	$2.5 \cdot 10^{18}$ см ⁻³	$3.0 \cdot 10^{17}$ см ⁻³	$1.0 \cdot 10^{18}$ см ⁻³
GaInP	1084	710	34	45
GaInP:Sb	1012	677	30	43

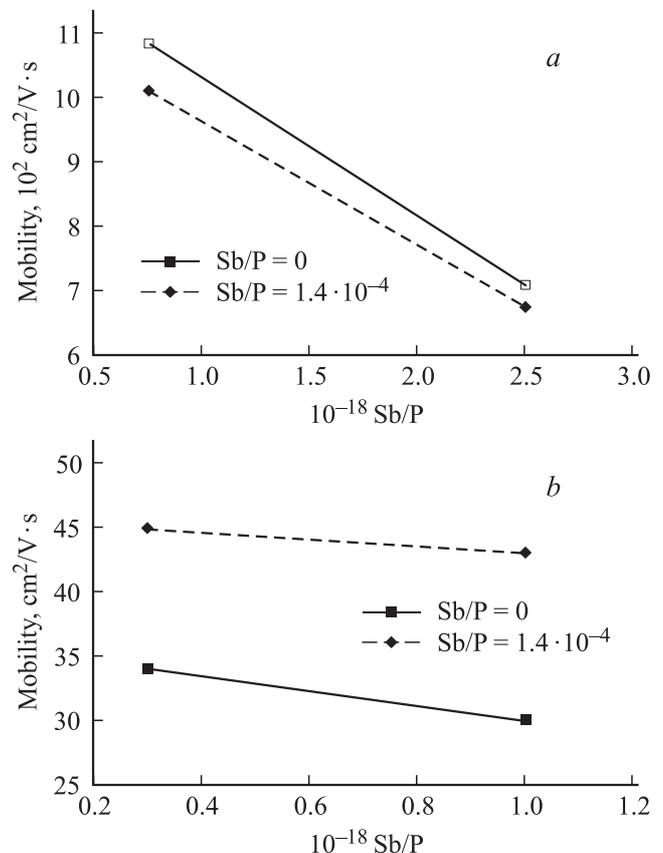
**Рис. 2.** Зависимость подвижности носителей зарядов GaInP_{1-x}Sb_x от сурьмы.

поверхность эпитаксиального слоя оставалась „зеркальной“. Дальнейшее увеличение концентрации сурьмы x в соединении GaInP_{1-x}Sb_x приводило к уменьшению ширины запрещенной зоны, а также к ухудшению состояния поверхности эпитаксиального слоя.

Атомы кристаллической решетки GaInP упорядочены в структуру CuPt с чередующимися плоскостями GaP и InP [3]. Малая концентрация сурьмы привела к снижению сверхструктурного упорядочения в подрешетке III группы, что привело к увеличению ширины запрещенной зоны GaInP. Обратный эффект при последующем повышении концентрации Sb может быть вызван замещением фосфора сурьмой в соединениях GaP и InP, что также привело к ухудшению морфологии эпитаксиального слоя.

В полученных образцах была измерена подвижность носителей зарядов методом, основанном на эффекте Холла при комнатной температуре и при 77 К. На

рис. 2 представлена полученная зависимость подвижности носителей от соотношения Sb/P. Из приведенных данных в табл. 1 видно, что постепенное увеличение концентрации сурьмы в слоях GaInP_{1-x}Sb_x приводит к снижению подвижности носителей зарядов, вызывая

**Рис. 3.** Подвижность носителей зарядов разного типа проводимости в слоях GaInP_{1-x}Sb_x. a — n-тип, легирование Si, b — p-тип, легирование Zn.

разупорядочение кристаллической решетки эпитаксиального слоя GaInP.

Для определения влияния сурьмы на подвижность носителей зарядов разного типа проводимости на полуизолирующих подложках GaAs проводился рост слоев GaInP_{1-x}Sb_x:Si и GaInP_{1-x}Sb_x:Zn при $x = 1.44 \cdot 10^{-4}$. На рис. 3 представлены значения подвижности носителей зарядов, измеренные при температуре 300 К.

Введение небольшого количества сурьмы в легированные слои GaInP привело к незначительному снижению подвижности носителей зарядов обоих типов проводимости. Разница между подвижностями носителей зарядов в слоях GaInP и слоях GaInP:Sb находится в интервале возможных значений подвижности при одном и том же уровне легирования [4].

3. Заключение

В настоящей работе было проведено исследование влияния примеси сурьмы на оптико-электрические свойства слоев GaInP, полученных методом МОС-гидридной эпитаксии. Была получена зависимость значения ширины запрещенной зоны эпитаксиального слоя GaInP_{1-x}Sb_x от малых концентраций сурьмы „x“. Определено влияние примеси Sb на подвижность носителей зарядов разного типа проводимости в слоях GaInP_{1-x}Sb_x, при $x = 1.44 \cdot 10^{-4}$.

Список литературы

- [1] J.M. Olson, D.J. Friedman. Nat. Ren. Energy, **64**, 359 (2003).
- [2] C.M. Fetzter, J.H. Ermer. Patent Pub. No.: US 2007/0068572 A1. 2007.
- [3] M.C. De Long. Appl. Phys. Lett., **66** (23), 3185 (1995).
- [4] Yu.A. Goldberg. *Handbook series on semiconductor parameters* (London, World Scientific, 1999) v. 2, p. 37.

Редактор Т.А. Полянская

Semiconductor compounds GaInP, doped with isovalent impurity Sb

A.F. Skachkov

Open Joint Stock Company „Saturn“,
350072 Krasnodar, Russia

Abstract GaInP_{1-x}Sb_x layers with various concentrations of antimony were grown by the MOCVD on GaAs and Ge substrates. Measurement of the mobility of charge carriers in the layers GaInP_{1-x}Sb_x were carried out at room temperature and at 77 K. Measurement of the mobility of charge carriers in the layers GaInP_{1-x}Sb_x, additionally doped with donor and acceptor impurities, were carried out at room temperature. Measurement of photoluminescence peaks of GaInP_{1-x}Sb_x layers was carried out. Dependence of the effect of antimony on the band gap of GaInP_{1-x}Sb_x and the mobility of the charge carriers was determined.