

06:07:12

Формирование оптоэлектронных структур на основе твердых растворов InAsSb/InAsSbP

© Е.А. Гребенщикова, А.М. Литвак, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 29 января 1998 г.

Для формирования оптоэлектронных приборов (лазеров, светодиодов и фотодиодов) на основе твердых растворов InAs для спектрального диапазона 3–5 μm предложен травитель состава $\text{HCl/CrO}_3/\text{HF/H}_2\text{O}$. Показано, что предложенный травитель обеспечивает изотропность скоростей травления как InAs, так и твердых растворов GaInAsSb, InAsSbP и InAsSb разного состава. Приводится пример использования травителя для формирования мощных светодиодов для спектрального диапазона 3.3 μm .

В последнее десятилетие интенсивно развиваются исследования по созданию оптоэлектронных приборов для спектрального диапазона 3–5 μm на основе твердых растворов InAs [1,2]. Это обусловлено расширением применения таких приборов для экологического мониторинга и контроля различных технологических процессов [3].

Свойства оптоэлектронных приборов в существенной степени зависят от метода формирования оптоэлектронного элемента. Наиболее широко в настоящее время используются химические методы в сочетании с процессом фотолитографии, в ходе которого производят формирование заданного профиля на поверхности выращенной эпитаксиальной структуры.

Имеющиеся в литературе многочисленные публикации описывают, как правило, формирование оптоэлектронных приборов с помощью химических травителей для широкозонных твердых растворов на основе GaAs [4], GaSb [4,7], InP [4]. В то же время количество публикаций по травителям для узкозонных материалов на основе InAs очень ограничено. В [4] описывается травитель для обработки InAs, состоящий из азотной, плавиковой и уксусной кислот. Недостатки предложенного травителя проявляются, во-первых, в невозможности обработки мно-

гослойных гетероструктур, содержащих InAs и четырехкомпонентные твердые растворы на его основе $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y}Sb_y$, $InAs_{1-x-y}Sb_yP_x$, в связи с разной скоростью окислительно-восстановительной реакции на поверхности слоев разного состава, что приводит к образованию ступенчатой мезы. Во-вторых, активное выделение окислов азота в процессе травления приводит к тому, что поверхность частично блокируется пузырьками газа и в этих местах образуются недотравленные островки, что приводит к образованию шероховатой поверхности.

Целью данной работы является разработка новой методики по созданию ровной, полированной поверхности мезаструктуры, лишенной боковых выступов, раковин и прочих неровностей во избежание напряжения на поверхности скрытой мезы и для уменьшения поверхностного тока утечки. Такая поверхность мезаструктуры необходима для качественного проведения последующих стадий фотолитографии (нанесение фоторезиста), а также для нанесения диэлектрических покрытий и создания омических контактов.

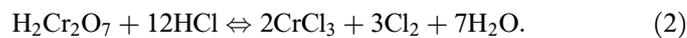
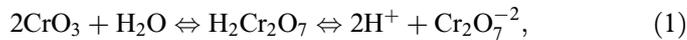
Для решения поставленной задачи был разработан травитель, позволяющий формировать мезы на поверхности оптоэлектронной структуры на основе InAs, обеспечивающий изотропность скоростей травления как InAs, так и твердых растворов на его основе ($GaInAsSb$, $InAsSbP$, $InAsSb$).

В экспериментах по травлению были использованы *n*-типа InAs [100], GaSb [100] InSb [100] и структуры с эпитаксиальными слоями $GaInAsSb$, $InAsSbP$ и $InAsSb$ разного состава. В процессе фотолитографии был использован позитивный фоторезист Н-383. Толщина резистивной пленки была выбрана $1.5 \mu m$. Поставленная нами цель достигалась при следующем составе травителя: $HCl/CrO_3/HF/H_2O$. Компоненты, входящие в состав травителя, порознь содержатся в различных типах травителей [4]. Однако в обсуждаемой совокупности компонентов меняется роль соляной кислоты. Соляная кислота во всех ранее использовавшихся травителях создавала кислую среду. В обсуждаемом нами травителе соляная кислота участвует в реакции (2), в ходе которой образуется сильный окислитель ($2Cl^0 \rightarrow Cl_2$), что позволяет добиться высокой скорости окислительно-восстановительных реакций на поверхности полупроводника. Согласно химической теории [5], травление рассматривается как обычная гетерогенная реакция и, следовательно, весь процесс травления расчлениют на пять этапов: диффузия реагента к поверхности, адсорбция реагента, поверхностная химическая реакция,

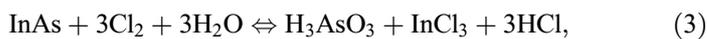
десорбция продуктов взаимодействия, диффузия продуктов реакции от поверхности.

Так как каждый из реагентов травителя должен пройти эту последовательность, то кинетика всего процесса может быть очень сложной. Суммарный процесс определяется наиболее медленной (контролирующей) стадией. При умеренных температурах травление контролируется стадией химического взаимодействия, реже процессом диффузии. При высоких температурах кинетика травления, как правило, определяется скоростью диффузии. Присутствие соляной кислоты создает условия для быстрого окисления компонентов твердого раствора и позволяет с одинаковой скоростью травить слои четырехкомпонентного твердого раствора, различающиеся по химическому составу, что приводит к высокому качеству мезы. Соляная кислота выполняет две функции — создает кислую среду и образует активный окислитель Cl_2 (в момент выделения радикала Cl^0). Высокие окислительные способности свободного радикала Cl^0 обуславливают большую плотность центров травления и позволяют получать полированную поверхность мезы.

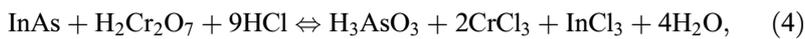
Рассмотрим окислительно-восстановительные реакции, протекающие в среде обсуждаемого травителя: [6]



Итак, в растворе имеются два сильных окислителя: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ и Cl_2 . На примере InAs проследим за окислением компонентов твердого раствора:



$\text{As}^{-3} \rightarrow \text{As}^{+3}$ (окисляется до степени окисления +3)



$\text{As}^{-3} \rightarrow \text{As}^{+3}$, возможен также дополнительный процесс — более глубокое окисление до As^{+5} : $\text{AsO}_3^{-3} + \text{окислитель} (\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}; \text{Cl}_2) \rightarrow \text{AsO}_4^{-3}$.

Наличие мощного окислителя, проводящего глубокое окисление компонентов, приводит к тому, что скорость травления лимитируется уже не окислительно-восстановительными, а диффузионными процессами, что приводит к равенству скоростей травления слоев, содержащих InAs и

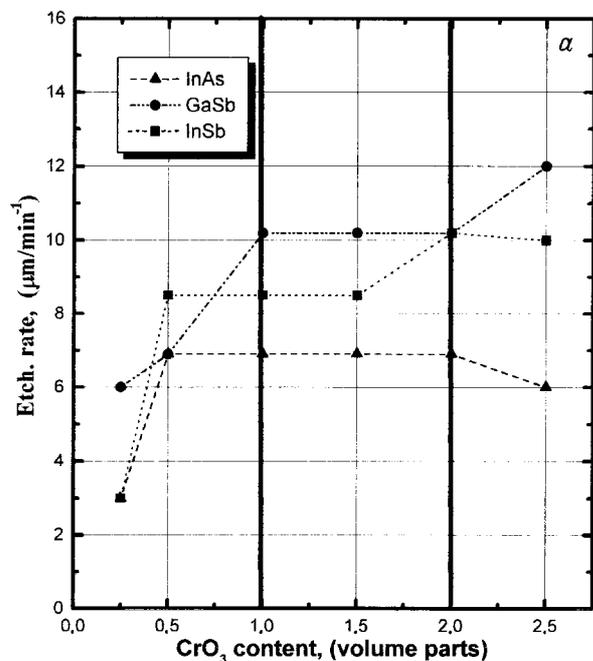


Рис. 1. *a* — скорость травления бинарных соединений в травителе в зависимости от содержания CrO_3 . Диапазон концентраций, в котором возможно получение полированной поверхности, ограничен двумя вертикальными линиями. *b* — фотография скола мезы гетероструктуры $\text{InAsSbP}/\text{InAsSb}/\text{InAsSbP}/\text{InAs}$.

многокомпонентные твердые растворы на его основе $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Sb}_y\text{As}_{1-y}$, где $x \leq 0.20$, $y \leq 0.35$; $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_y\text{P}_x$, где $x \leq 0.32$, $y \leq 0.15$.

Обычно при окислении образуются плохо растворимые окислы, которые необходимо перевести в раствор. Для этого используют комплексообразующие агенты [5]. В роли комплексообразователя в рассматриваемом травителе выступает HF .

На рис. 1, *a* представлена зависимость скорости травления бинарных соединений в травителе $\text{HCl}/\text{CrO}_3/\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$ от содержания CrO_3 . Видно, что получение полированной поверхности обсуждаемых в данной статье бинарных соединений возможно в том случае, когда скорости их травле-

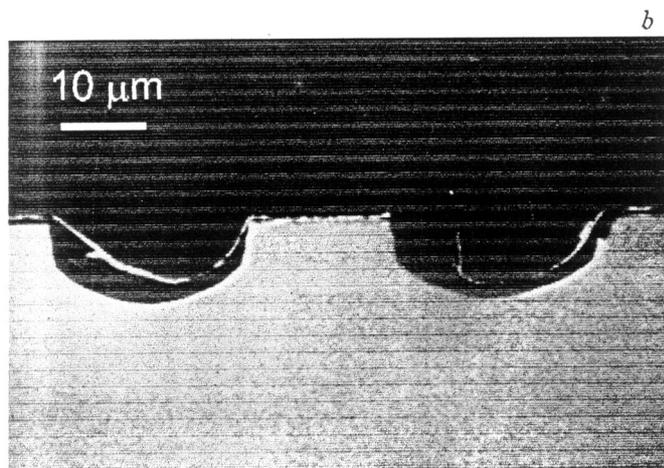


Рис. 1 (продолжение).

ния близки и практически не меняются. Этому интервалу скоростей от 7 до 10 $\mu\text{m}/\text{min}$ соответствует оксид хрома от 1 до 2 объемных частей.

В таблице приведены данные по скорости травления твердых растворов на основе InAs в обсуждаемом травителе

Состав структуры	Скорость травления, $\mu\text{m}/\text{min}$
InAs	6.9
$\text{Ga}_{0.08}\text{In}_{0.92}\text{As}_{0.77}\text{Sb}_{0.23}$	6.9
$\text{Ga}_{0.12}\text{In}_{0.88}\text{As}_{0.81}\text{Sb}_{0.19}$	7.0
$\text{Ga}_{0.14}\text{In}_{0.8}\text{As}_{0.77}\text{Sb}_{0.23}$	7.1
$\text{In}_{1.0}\text{As}_{0.68}\text{Sb}_{0.12}\text{P}_{0.20}$	7.0

Из этой таблицы видно, что скорость травления четырехкомпонентных твердых растворов почти не отличается от скорости травления InAs и не зависит от состава твердого раствора. Подтверждением этому служит фотография (рис. 1, *b*), полученная с помощью электронного микроскопа. Это позволяет использовать данный травитель для получения ровного профиля мезы и полированной поверхности структуры, в состав

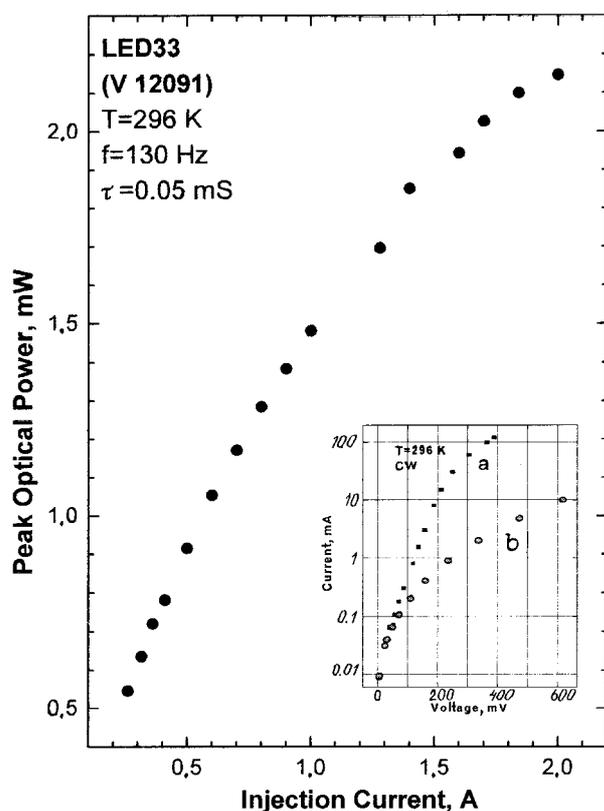


Рис. 2. Зависимость мощности излучения светодиода ($\lambda = 3.3 \mu\text{m}$) от тока. На врезке представлена вольт-амперная характеристика светодиода в прямом (*a*) и обратном (*b*) включении.

которой входят слои твердых растворов различного стехиометрического состава, и, как следствие, уменьшить поверхностные токи утечки и увеличить напряжение пробоя диодов, содержащих InAs и твердые растворы на его основе. Подобный травитель был использован для создания свето- и фотодиодов (круглая меза), лазеров (мезаполосок) для спектрального диапазона $\lambda = 3 \div 5 \mu\text{m}$. В качестве иллюстрации

сформированной структуры на рис. 2 представлена вольт-амперная характеристика светодиода при комнатной температуре, а также представлена зависимость мощности излучения светодиода ($\lambda = 3.3 \mu\text{m}$) от тока. Полученные структуры позволяют создать излучатели с рекордной мощностью излучения.

В заключение можно сказать, что для формирования структур на основе твердых растворов InAsSb/InAsSpP предложен травитель состава $\text{HCl/CrO}_3/\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$. Его использование позволяет с одинаковой скоростью травить слои разного состава, что приводит к хорошему качеству межи и открывает возможности для создания высокоэффективных светоизлучающих приборов для спектрального диапазона 3–5 μm , содержащих InAs и многокомпонентные твердые растворы на его основе.

Список литературы

- [1] *Yakovlev Yu.P., Popov A.A., Sherstnev V.V., Imenkov A.N., Danilova T.N., Ershov O.G.* // 3rd European Conference on Optical Chemical Sensor and Biosensor. 31 March-3 April, 1996. Zurich, Switzerland, 1996. P. 10.
- [2] *А.А. Попов, М.В. Степанов, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 21. С. 24.
- [3] *Горелик Д.О., Конопелько Л.А.* Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэро-аналитические измерения., М., 1992. С. 289.
- [4] *Полупроводниковые соединения A^3B^5* / Под ред. Р. Виллардсона и Х. Геринга. М., 1967. С. 630.
- [5] *Угай Я.А.* Введение в химию полупроводников. М., 1975. С. 276.
- [6] *Глинка Н.Л.* Общая химия. Л., 1985. С. 635.
- [7] *J. Electrochem. Soc. Solid-State Science and Technology.* 1986. V. 133. N 12. P. 2565.