

06;12

Формирование дискового резонатора для полупроводниковых лазеров на основе гетероструктур InAs(Sb)/InAsSbP

© Е.А. Гребенщикова, В.В. Шерстнев, С.С. Кижаяев, Ю.П. Яковлев

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

E-mail: eagr@iropt7.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 30 октября 2007 г.

Для создания кольцевого резонатора WGM-лазера был использован электрохимический метод травления в травителе $\text{HClO}_4/\text{CH}_3\text{COOH}$. В результате изотропного травления слоев, содержащих InAs и четырехкомпонентный твердый раствор на его основе $\text{InAsSb}_{0.14}\text{P}_{0.3}$ были получены мезы в виде круглых дисков диаметром от 275 до $50\ \mu\text{m}$. Общая глубина травления достигала $15\ \mu\text{m}$, при этом вертикальная часть боковой поверхности составила $7\ \mu\text{m}$.

PACS: 85.30.z, 42.79-e

В последние годы растет интерес к оптимизации конструкций и технологий изготовления полупроводниковых лазеров, работающих в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне в целях улучшения оптических характеристик таких лазеров. Этот интерес обусловлен не только научной, но и практической значимостью разработки лазеров среднего ИК-диапазона ($2\text{--}8\ \mu\text{m}$), поскольку в этом спектральном диапазоне находятся линии поглощения многих промышленных и экологически вредных газов [1,2].

В настоящее время существует множество вариантов конструкций лазеров среднего ИК-диапазона. Наиболее перспективной конструкцией лазера в среднем ИК-диапазоне является квантово-каскадный лазер (QCL), в котором существенно подавляется безызлучательная рекомбинация и достигается генерация при комнатной температуре в диапазоне $5\ \div\ 15\ \mu\text{m}$. Примером другой интересной конструкции служит вертикально излучающий лазер (VECSEL), конструкция которого позволяет улучшить добротность резонатора [3]. Одним из основных недостатков

таких лазеров является сложность изготовления приборов и их большая стоимость.

В связи с этим в [4–6] была предложена и реализована принципиально новая конструкция лазера для среднего ИК-диапазона. Ее характерная особенность — использование резонатора в виде диска, рабочей модой которого является так называемая „мода шепчущей галереи“ (WGM — whispering gallery mode).

Для создания дисковых лазеров необходимо разработать технологию формирования дисковых резонаторов с гладкой вертикальной боковой поверхностью высотой 5–7 μm .

Цель настоящей работы — создание резонатора в виде диска на основе двойной гетероструктуры InAs(Sb)/InAsSbP. Для решения такой задачи необходимо найти способ травления четырехкомпонентных твердых растворов на основе InAs.

Применение травителей, используемых для GaAs и GaSb, в случае InAs и твердых растворов на его основе не дает нужных результатов.

Для травления многослойных гетероструктур на основе InAs в [7] был предложен травитель, обеспечивающий полированную поверхность и ровный профиль мезы благодаря равенству скоростей травления слоев, содержащих InAs и четырехкомпонентные твердые растворы на его основе $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{Sb}_y$, где $x \leq 0.2$, $y \leq 0.35$; $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_y\text{P}_x$, где $x \leq 0.32$, $y \leq 0.15$. Этот травитель хорошо проявлял себя при травлении полосков или прямоугольных мез. При травлении круглых мез диаметром 300 μm также наблюдался ровный профиль мез. Однако при травлении круглых мез размером 200 μm и менее проявлялась анизотропность травления, т.е. зависимость скорости травления от кристаллографического направления, при этом меза приобретала форму эллипса.

В данной работе с целью достижения изотропного травления многослойных гетероструктур на основе InAs был применен электрохимический метод травления с использованием травителя состава $\text{HClO}_4/\text{CH}_3\text{COOH}$.

Для экспериментов использовались пластины, вырезанные из одной структуры, выращенной методом МОГФЭ (MOCVD). Активная область InAs толщиной 0.5 μm была заключена между двумя более широкозонными эмиттерами *p*- и *n*-типа состава $\text{InAsSb}_{0.14}\text{P}_{0.3}$, толщиной 2.7 μm ($n = 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$; $p = 1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). На эти пластины был нанесен рисунок в виде кругов различного диаметра от 300 до 80 μm . Травление

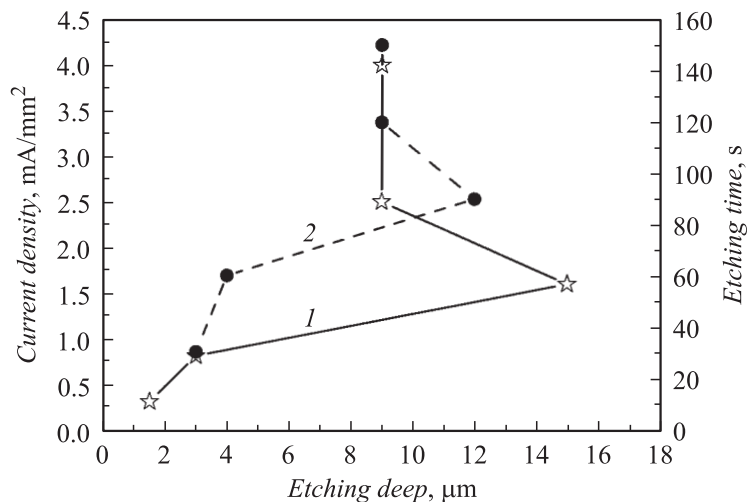


Рис. 1. Зависимость глубины травления гетероструктуры InAs(Sb)/InAsSbP от плотности тока в травителе $\text{HClO}_4/\text{CH}_3\text{COOH}$ в ходе электрохимического травления при фиксированном времени травления (60 s — кривая 1) и от продолжительности травления при фиксированной плотности тока ($\rho = 1.0 \text{ mA}/\text{mm}^2$ — кривая 2).

проводилось в травителе состава $\text{HClO}_4/\text{CH}_3\text{COOH}$ с использованием электрохимического метода.

Были исследованы зависимости глубины травления как от плотности пропускаемого через образец тока, так и от времени травления. После удаления фоторезиста была измерена глубина вытравленных фигур, изучен характер профиля мез и качество поверхности.

На рис. 1 (кривая 1) приведена зависимость глубины травления гетероструктуры на основе InAs от плотности тока, пропускаемого через кристалл при фиксированном времени травления (60 s). Плотность тока рассчитывалась как отношение величины пропускаемого через образец тока к площади кристалла.

Как видно из рис. 1 (кривая 1), при повышении плотности тока, пропускаемого через электролит, от 0.3 до $1.6 \text{ mA}/\text{mm}^2$ наблюдалось плавное увеличение глубины травления и максимальная глубина составляла $15 \mu\text{m}$ при величине плотности тока $1.6 \text{ mA}/\text{mm}^2$. Дальнейшее

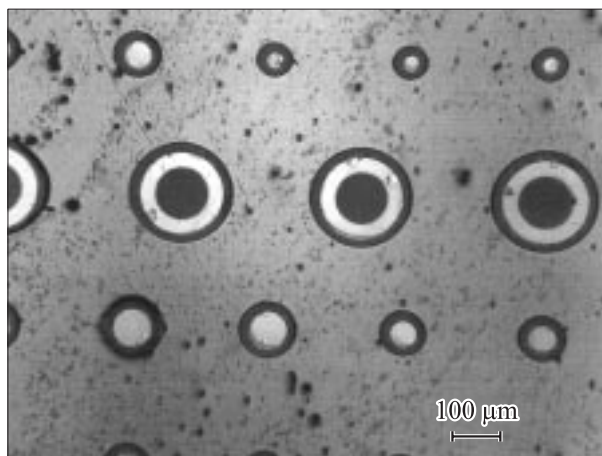


Рис. 2. Фотография мез после травления гетероструктуры InAs(Sb)/InAsSbP в травителе состава $\text{HClO}_4/\text{CH}_3\text{COOH}$ при электрохимическом травлении.

повышение плотности тока не приводит к увеличению глубины травления.

Результаты исследования глубины травления от времени представлены на рис. 1 (кривая 2). При этом плотность тока составляла 1 mA/mm^2 . При временах травления длительностью 30 и 60 с глубина травления составляла 3 и $4 \mu\text{m}$ соответственно. При увеличении времени травления глубина мезы достигает $12 \mu\text{m}$. Дальнейшее увеличение продолжительности травления не приводит к получению более глубокой мезы с вертикальными боковыми стенками.

На рис. 2 приведена фотография поверхности кристалла, на которой сформированы мезы разного диаметра — от 270 до $50 \mu\text{m}$. Как видно из рисунка, мезы, полученные путем электрохимического травления в травителе, используемом в работе, при высоте $15 \mu\text{m}$ имели форму круга в отличие от мез в форме эллипса, получающихся при травлении в травителе, описанном в [7].

Таким образом, в результате проделанной работы были созданы дисковые резонаторы с вертикальной боковой поверхностью на основе гетероструктур InAs(Sb)/InAsSb_{0.14}P_{0.3} методом электрохимического травления.

Были поставлены эксперименты с целью увеличения глубины травления. Для этого использовались как большие величины тока, так и большая продолжительность травления. В результате было обнаружено, что таким путем можно увеличить глубину травления, однако при этом значительно увеличивается тангенциальная составляющая скорости травления и профиль мезы получается далек от вертикального, что расходится с поставленной задачей.

Максимальная глубина травления в экспериментах, в которых наблюдалось удовлетворительное качество поверхности и профиля мезы достигала $15\ \mu\text{m}$. При этом травление было изотропным, вытравленные мезы диаметром от 270 до $50\ \mu\text{m}$ имели вид круга.

Таким образом, показано, что применение электрохимического травления с использованием травителя $\text{HClO}_4/\text{CH}_3\text{COOH}$ для обработки гетероструктуры состава $\text{InAs}(\text{Sb})/\text{InAsSb}_{0.14}\text{P}_{0.3}$ позволяет получить мезы круглой формы с диаметром от 270 до $50\ \mu\text{m}$ с ровной боковой поверхностью.

В результате были созданы WGM-лазеры. Вертикальный участок боковой поверхности мезы при общей высоте $15\ \mu\text{m}$ составляет $7\ \mu\text{m}$.

Работа была выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 07-02-13616-офи_ц, 07-02-92170-НЦНИ_a.

Список литературы

- [1] *Astakhova A.P., Imenkov A.N., Danilova T.N., Sherstnev V.V., Yakovlev Yu.P.* // Spectrochimica Acta. Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. V. 66. Iss. 4–5. April 2007. P. 824–831.
- [2] *Стоянов Н.Д., Журтанов Б.Е., Астахова А.П., Именков А.Н., Яковлев Ю.П.* // ФТП. 2003. Т. 37. В. 8. С. 996–1009.
- [3] *Varanov A.N., Rouillard Y., Boissier G., Gresh P., Gaillard S., Alibert C.* // Electronics Letters. 1998. V. 34. Iss. 3. P. 281–282.
- [4] *Шерстнев В.В., Монахов А.М., Кислякова А.Ю., Яковлев Ю.П., Аверкиев Н.С.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2006. Т. 70. № 3. С. 364–367.
- [5] *Sherstnev V.V., Monakhov A.M., Astakhova A.P., Kislyakova A.Yu., Yakovlev Yu.P., Averkiev N.S., Krier A., Hill G.* // Physics of semiconductor devices. 2005. V. 39. N 9. P. 1087–1092.
- [6] *Sherstnev V.V., Monakhov A.M., Krier A., Wright D.A.* // IEE Proc. Optoelectronic. 2005. V. 152. N 1. P. 1–5.
- [7] *Гребенщикова Е.А., Литвак А.М., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 15. С. 27–33.