

ИММЕРСИОННЫЕ ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ИНДИЯ, РАБОТАЮЩИЕ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Н.В. Зотова, Н.Д.Ильинская, С.А. Карандашев, А.В. Корюк, Б.А. Матвеев,

М.А. Ременный, Н.М. Стусь

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

Последнее десятилетие было отмечено существенным прогрессом в создании неохлаждаемых свето- и фотодиодов, работающих в средней инфракрасной области спектра (3-6 мкм), которые предполагается использовать для измерений пропускания среды с целью определения содержания в ней вредных для здоровья человека компонентов, например, окиси азота [¹]. Для светодиодов наиболее успешные приборные реализации связаны с использованием прозрачных подложек, позволяющих упростить конструкцию как оптически возбуждаемых источников при обеспечении фотолюминесценции «на просвет», так и реализовать конструкции типа «флип-чип» с электрической инжекцией носителей, например, при использовании сильно легированных подложек n⁺-InSb [²]. Было показано, что для приемников [³ , ⁴] и источников излучения с оптическим [⁵] или электрическим [⁴] возбуждением с рабочей длиной волны вблизи 3 мкм в качестве материала таких подложек можно использовать сильно легированный арсенид индия или близкий к нему по химическому составу твердый раствор InGaAsSb [⁶] с концентрацией электронов $n > 10^{18} \text{ см}^{-3}$, обеспечивающей вырождение электронов в зоне проводимости и сдвиг края поглощения в коротковолновую сторону в соответствии с эффектом Мосса-Бурштейна. Привлекательным для практического применения свойством таких флип-чип диодов является наличие у них свободной от контактов поверхности n⁺-In(Ga)As(Sb), что позволяет производить их иммерсионную стыковку с пассивными оптическими элементами — линзами и волокнами, существенно расширяющими диапазон применений таких диодов. Ранее были изучены свойства «иммерсионных» [⁷] и «волоконно-оптических» [⁸] светодиодов для анализа содержания углеводородов в воздухе и воде соответственно, однако не было проведено исследований «иммерсионных» фотодиодов как самостоятельных устройств.

В данной работе мы приводим результаты исследований фотодиодов из арсенида индия, выполненных в конструкции типа флип-чип и состыкованных с иммерсионными линзами.

Исследовались образцы, полученные из гетероструктур InAsSbP/InAs, выращенных на сильнолегированных подложках $n^+-\text{InAs}(\text{Sn})$ (111) ($n > 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Толщины широкозонных слоев $p\text{-InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y$ (Zn) ($x \sim 0.09$, $y \sim 0.18$, $p = 2 \div 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) были в пределах 2-3 мкм, толщина нелегированного активного слоя $n\text{-InAs}$ с

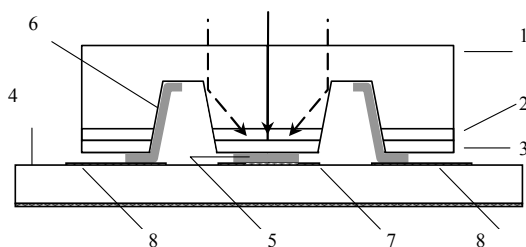


Рис.1 Схема (разрез) флип-чип диода, смонтированного на кремниевом носителе. Цифрами показаны: 1 – подложка $n^+-\text{InAs}$ /монтажная поверхность для линзы, 2 – слой $n\text{-InAs}$, 3 – слой $p\text{-InAsSbP}(\text{Zn})$, 4 – носитель из Si, 5 – анодный контакт, 6- катодный контакт, 7, 8 – контактные площадки с нанесенным покрытием из Sn+Pb

расположенным в нем p-n переходом составляла 2-4 мкм.

Для получения конструкций типа «флип-чип» использовалась стандартная многоступенчатая «мокрая» фотолитография, позволявшая получить глубину мезы до 40 мкм, при площади мезы в области p-n перехода $\sim 4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$. При этом стенки мезы имели гладкую поверхность, обеспечивающую эффективное отражение излучения, что ранее было показано нами на примере работы светодиодов, изготовленных из аналогичных структур и описанных в [9]. Указанное отражение обозначено

стрелками на Рис.1, где представлена схема чипа. Контакты наносились напылением в вакууме с последующим «упрочнением» при электрохимическом осаждении золота. По окончании процессов фотолитографии подложка $n^+-\text{InAs}$ частично стравливалась в химическом травителе до получения пластины толщиной 70-150 мкм, которая затем раскалывалась на отдельные чипы, которые монтировались в корпуса, имевшие в своем составе кремниевые линзы с эффективным диаметром 3.2 мм, по форме близкие к «гиперполусфере» (сфера Вейрштрасса). Как и во всех предыдущих наших работах, в качестве иммерсионного слоя между $n^+-\text{InAs}$ и линзой было использовано халькогенидное стекло ($n=2.4$).

На Рис. 2 приведена вольт-амперная характеристика диода в прямом и обратном направлениях, показывающая наличие некоторой утечки; при этом сопротивление в нуле смещения составляло 3.7 кОм.

Спектральные характеристики (см. Рис.2, справа) имели максимум вблизи 3.3 мкм и резкий спад чувствительности в коротковолновой области, связанный с поглощением/«фильтрацией» излучения в подложке $n^+-\text{InAs}$, аналогичный

приведенному ранее для диодов, полученных из подобных структур [3]. При этом интегральная чувствительность составляла 1.53 А/Вт (5660 В/Вт), а значение максимума обнаружительной способности - $D^* = 2.1 \cdot 10^{11}$ см Гц^{1/2}Вт⁻¹. Высокое значение обнаружительной способности исследуемых фотодиодов обеспечивается наличием иммерсии, высоким отношением оптической и электрической площадей, а

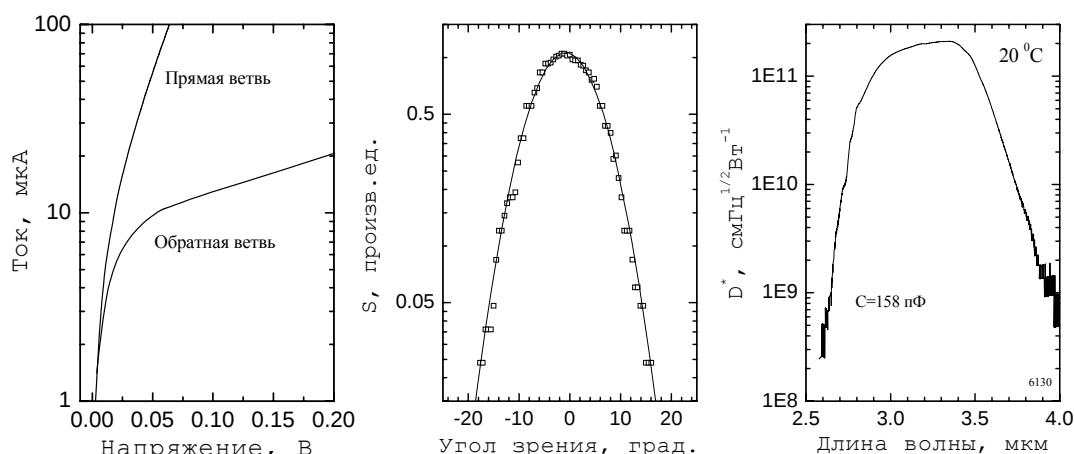


Рис.2 Вольт-амперная характеристика (слева), угловая зависимость чувствительности (в центре) и спектральная зависимость обнаружительной способности (справа) иммерсионного фотодиода на основе арсенида индия при комнатной температуре.

также рядом особенностей конструкции чипа, например, наличием зеркального анода, покрывающего большую часть площади диода. Присутствие линзы имело следствием также существенное сужение угла зрения фотодиода, как показано на Рис.2 в центре.

В докладе обсуждаются температурные зависимости основных характеристик фотодиодов (D^* , емкость, спектральные характеристики, R_0), а также возможные практические приложения, связанные, например, с контролем за утечками углеводородов (полоса поглощения 3.4 мкм) в открытом канале длиной до 100 м.

Работа поддержана Фондом содействия развитию МП НТС РФ (проект № 6670).

¹ J.G. Crowder, T. Ashley, C.T. Elliott et al *Electronics Lett.*, **36**, 1867-1869, (2000)

² Ashley T., Dutton D.T., Elliott C.T. et al ,", *Proc. SPIE*, **3289**, 43 (1998)

³ B. A. Matveev, M. Aydaraliev, N. V. Zotova, S. A. Karandashov, M.A. Remennyi, N.M. Stus', G. N. Talalakin, *Proc. SPIE* **4650**, 173-178, Photodetector Materials and Devices VII (2002),

-
- ⁴ B. A. Matveev, M. Aydaraliev, N. V. Zotova, S. A. Karandashov, N. D. Il'inskaya, M.A. Remennyi, N.M. Stus', G. N. Talalakin, *IEE Proc.-Optoelectronics*, **150**,356-359 (2003)
- ⁵ Н.В. Зотова, С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев, М.А. Ременный, Н.М.Стусь, Г.Н.Талалакин, В.В.Шустов, *ФТП*, **35**, 371-374 (2001)
- ⁶ Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М., Шустов В.В., Тараканова Н.Г. *ФТП*, **40** , 1004-1008 (2006)
- ⁷ M A Remennyi, N V Zotova, S A Karandashev, B A Matveev, N M Stus' and G N Talalakin, *Sensors & Actuators B: Chemical*, **91**, 256-261 (2003)
- ⁸ B. A. Matveev, N.V.Zotova, S. A. Karandashev, M. A. Remennyi, N. M. Stus' and G.N.Talalakin “3.4 μm “Flip-chip” LEDs for Fiber Optic Liquid Sensing” Proceedings of the 1-st International CONFERENCE on ADVANCED OPTOELECTRONICS and LASERS (CAOL'2003), September 16-20, 2003 Alushta, Crimea, Ukraine v.2, pp. 138-140
- ⁹ Boris Matveev, Nonna Zotova, Natalya Il'inskaya, Sergey Karandashev, Maxim Remennyi, Nicolay Stus', Anatoly Kovchavtsev, Georgii Kuryshev, Vladimir Polovinkin, Natalya Tarakanova, paper # 0891-EE01-04, *Progress in Semiconductor Materials V -- Novel Materials and Electronic and Optoelectronic Applications*, MRS Proceedings **891**, Editors: L.J. Olafsen, R.M. Biefeld, M.C. Wanke, A.W. Saxler (2006)
- http://www.mrs.org/s_mrs/sec_subscribe.asp?CID=6214&DID=173799&action=detail