

Влияние одноосного сжатия на параметры фотопреобразования оптического контакта p -GaSe– n -InSe

© С.И. Драпак[†], М.О. Воробец, З.Д. Ковалюк

Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича,
Черновицкое отделение Национальной академии наук Украины,
58001 Черновцы, Украина

(Получена 3 августа 2004 г. Принята к печати 9 сентября 2004 г.)

Исследовано влияние механического давления в направлении, перпендикулярном плоскости локализации границы раздела гетеропереходов n -InSe– p -GaSe, на изменение фотоэдс насыщения и тока короткого замыкания. Показано, что в оптических контактах InSe/GaSe, находящихся под воздействием давления $P = 35$ – 40 кПа, наблюдается увеличение напряжения холостого хода почти в 2 раза и тока короткого замыкания более чем в 5 раз по сравнению с исходными образцами, что позволяет прогнозировать возможность увеличения КПД фотопреобразования таких структур до 15–16%.

Фотодиоды на основе анизотипных гетеропереходов (ГП) n -InSe– p -GaSe, изготовленных методом посадки на оптический контакт [1], являются аналогами кремниевых структур для работы в условиях повышенной радиации [2]. КПД фотопреобразования таких ГП составляет 0.7–3.2% в зависимости от электрических параметров контактирующих полупроводников и от конструктивных особенностей структур [3]. Согласно [4], гетерокontakt InSe/GaSe является структурой полупроводник–диэлектрик–полупроводник, в которой роль диэлектрика, несмотря на сложившееся мнение об инертности поверхностей слоистых полупроводников к сорбции сторонних атомов из атмосферы [5], играет именно слой кислорода, который представляет собой неравновесное состояние системы с долгим временем релаксации. Как показано в работе [4], в процессе длительного хранения (10–14 лет), вследствие диффузионного расплывания кислорода, полупроводниковые пластины InSe и GaSe приходят в реальный тесный контакт, площадь которого составляет всего $\sim 10\%$ от геометрической площади ГП. Если производить расчет КПД фотопреобразования таких структур с учетом реальной площади (т.е. площади, которая пришла в тесный контакт), то его величина для ГП, при изготовлении которых использовались моноселениды индия и галлия с оптимальными электрическими параметрами, возрастает с 3.2 до 11–12%. В том случае, если реализация участков тесного контакта InSe/GaSe является следствием частичного „вытеснения“ „воздушной прослойки“ или же „обволакивания“ скопления адсорбированных атомов под действием веса контактирующих полупроводников, целесообразным представляется проведение исследования влияния давления на параметры фотопреобразования оптического контакта InSe/GaSe.

В данном сообщении представлены результаты первых исследований влияния одноосного сжатия оптического контакта InSe–GaSe на величину фотоэдс насыщения (напряжения холостого хода) V_{oc} и тока короткого замыкания I_{sc} .

Исследования проводились на структурах, у которых значение последовательного сопротивления R колебалось в пределах $\sim 10^4$ – 10^5 Ом в зависимости от концентрации носителей заряда в контактирующих полупроводниках ($p_{GaSe} = 10^{14}$ – 10^{15} см $^{-3}$, $n_{InSe} \approx 10^{15}$ см $^{-3}$ при $T = 300$ К). ГП подвергались механическому давлению, направленному перпендикулярно плоскости границы раздела (вдоль оси симметрии c кристаллов InSe и GaSe).

На рис. 1 представлено изменение напряжения холостого хода V_{oc}^P (кривая 1) и тока короткого замыкания I_{sc}^P (кривая 2) в зависимости от величины приложенного к ГП InSe–GaSe давления P . Начальные значения (при отсутствии давления) величин V_{oc}^P/V_{oc} и I_{sc}^P/I_{sc} приняты за 100%. Исследование спектров оптического поглощения моноселенидов галлия и индия, подвергнутых влиянию одноосного сжатия давлением до $P \approx 75$ кПа, свидетельствует об отсутствии изменений в энергетическом спектре этих полупроводников, что хорошо согласуется с литературными данными [6,7]. Так, согласно [6], уменьшение ширины запрещенной зоны GaSe E_g под действием давления становится заметным лишь при $P \approx 10^8$ Па. Это обстоятельство дает основания связать изменение V_{oc}^P и I_{sc}^P гетероперехода n -InSe– p -GaSe в исследуемом диапазоне давлений с изменениями, происходящими на границе раздела.

Как видно из рис. 1 (кривая 1), до $P \approx 35$ кПа величина V_{oc} возрастает почти в 2 раза и стремится, как и было предсказано в работе [4], к величине контактной разности потенциалов ϕ_0 , рассчитанной в рамках модели Андерсона для идеальных ГП. Хотя, как свидетельствуют измерения вольт-фарадных характеристик структур, находящихся под воздействием давления, контактная разность потенциалов ϕ_0^P так и не достигает величины, определенной из соотношения для идеальных ГП,

$$\phi_0 = (\chi_p + E_{gp} - E_{Fp}) - (\chi_n + E_{Fn}) \quad (1)$$

даже с учетом возможного изменения положения уровня Ферми E_F в InSe и GaSe, о чем свидетельствует увеличение их удельного сопротивления с ростом

[†] E-mail: chimsp@unicom.cv.ua

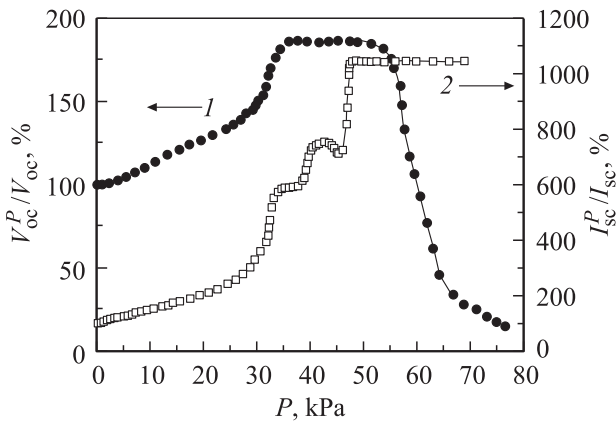


Рис. 1. Изменения величин напряжения холостого хода V_{oc} (1) и тока короткого замыкания I_{sc} (2) в зависимости от давления P , приложенного к гетеропереходу n -InSe- p -GaSe. V_{oc}^P и I_{sc}^P — значения величин V_{oc} и I_{sc} для структур, находящихся под воздействием давления.

приложенного давления до $P \approx 70$ кПа (рис. 2, кривые 1, 2). В соотношении (1) χ_p и χ_n — величины сродства к электрону для полупроводников p - и n -типов проводимости соответственно; E_{gp} — ширина запрещенной зоны полупроводника p -типа; E_{Fn} — энергетическое расстояние от потолка валентной зоны до уровня Ферми в полупроводнике p -типа проводимости, а E_{Fn} — от уровня Ферми до дна зоны проводимости в полупроводнике n -типа. Это обстоятельство — несоответствие величин ϕ_0^p и ϕ_0 (1) — свидетельствует о невозможности полного устранения промежуточного слоя адсорбированных из атмосферы атомов кислорода под воздействием давления. Тем не менее, в отличие от ГП, которые не подвергались воздействию давления и для которых напряжение холостого хода значительно превышает величину контактной разности потенциалов, что характерно для структур, содержащих на границе раздела диэлектрический зазор [8], начинает выполняться соотношение

$$eV_{oc}^P \leq \phi_0^P \quad (2)$$

что свидетельствует об уменьшении толщины промежуточного слоя до пренебрежительно малых размеров. Одновременно, несмотря на увеличение ширины области пространственного заряда (обусловленное возрастанием ϕ_0^p), определенной из $C-V$ характеристик, и на увеличение удельного сопротивления контактирующих полупроводников (рис. 2, кривые 1, 2) наблюдается значительное увеличение I_{sc}^P (более чем в 5 раз). Это свидетельствует о том, что оптический контакт InSe-GaSe под давлением уже можно рассматривать не как структуру полупроводник-диэлектрик-полупроводник, а как „тесный“ контакт. В диапазоне давлений $P \approx 35-40$ кПа величины V_{oc}^P и I_{sc}^P выходят на насыщение, что может быть следствием невозможности уменьшения толщины диэлектрического зазора под воздействием приложенного давления. Дальнейшее увеличение давления приводит

к скачкообразному возрастанию I_{sc}^P при сохранении постоянного значения V_{oc}^P , что может быть уже связано с увеличением площади исследуемых ГП вследствие более равномерного распределения слоя адсорбированных из атмосферы атомов кислорода на границе раздела. Увеличение I_{sc}^P в диапазоне давлений $P \approx 40-50$ кПа может быть связано и с изменениями параметров контактирующих полупроводников под воздействием давления (время жизни неосновных носителей заряда, диффузионная длина). Однако это предположение требует проведения дополнительных исследований. Резкое падение V_{oc}^P при $P > 55-60$ кПа, по-видимому, обусловлено влиянием несоответствия постоянных кристаллических решеток контактирующих полупроводников ($\sim 8\%$), которое начинает сказываться при уменьшении толщины диэлектрического зазора до пренебрежительно малой величины и может быть причиной появления фоточувствительности исследуемого ГП за пределами собственной полосы поглощения моноселенида индия (рис. 2, кривые 5, 6). Вследствие увеличения величины изгиба зон ϕ_0^p и увеличения удельного сопротивления контактирующих полупроводников вид вольт-амперных характеристик (ВАХ) ГП, находящихся под воздействием давления, также претерпевает изменение: если прямые ветви ВАХ исходных образцов могут быть описаны выражением $J \propto \exp(eV/nkT)$, где диодный коэффициент сохраняет значение $n \approx 1$ во всем интервале исследуемых температур, то для структур, находящихся под давлением, значение n превышает 2 при комнатной температуре.

Несмотря на то что интерпретация полученных результатов носит лишь предположительный характер, результаты проведенных исследований свидетельствует о возможности значительного увеличения параметров

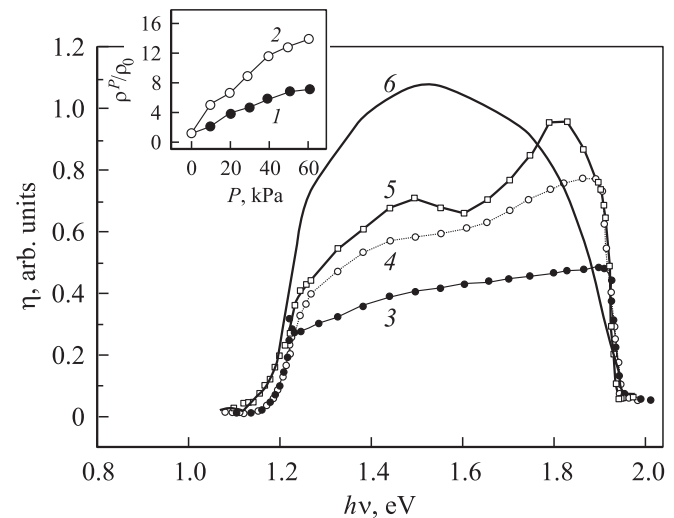


Рис. 2. Спектральные зависимости относительной квантовой эффективности η гетероперехода n -InSe- p -GaSe при значениях давления P , кПа: 3 — 0, 4 — 20, 5 — 40, 6 — 60. $T = 291$ К. На вставке — влияние давления на изменение удельного сопротивления моноселенидов индия (1) и галлия (2).

фотопреобразования ГП n -InSe- p -GaSe. В завершение следует отметить, что в том случае, если фактор заполнения ВАХ для гетеропереходов, подвергшихся одноосному сжатию давлением ~ 30 – 55 кПа, существенно не уменьшится, для них следует ожидать увеличения КПД фотопреобразования до 15–16%. Оценка произведена для структур с оптимальными исходными параметрами: остаточное сопротивление $\sim 10^3$ Ом, КПД $\sim 3.2\%$. Отметим также, что площадь ГП n -InSe- p -GaSe ограничивается размерами кварцевых ампул, в которых выращиваются моноселениды индия и галлия, и для исследованных структур составляет ~ 1 см². Заключение структур с такими размерами в корпуса под воздействием $P \approx 35$ – 50 кПа не должно заметно отразиться на стоимости фотопреобразователей.

Список литературы

- [1] В.Л. Бакуменко, В.Ф. Чишко. ФТП, **11** (10), 2000 (1977).
- [2] Э.Г. Аширов, В.Л. Бакуменко, А.К. Бонаков, Ю.С. Магай и др. Тез. докл. Всес. сем. по радиационным эффектам в полупроводниках и полупроводниковых приборах (Баку, Азернешер, 1980) с. 91.
- [3] С.И. Драпак, В.Н. Катеринчук, З.Д. Ковалюк, В.А. Манассон. Физ. электроника, № 41, 92 (1988).
- [4] С.И. Драпак, В.Б. Орлецкий, З.Д. Ковалюк. ФТП, **38** (5), 566 (2004).
- [5] R.H. Williams, A.J. Mc Avej. J. Vac. Sci. Technol., **9** (2), 867 (1972).
- [6] Landolt-Bornstein. *Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Ser. Group III: Crystal and Solid State Physics*, ed. by O. Madelung (Berlin, Springer, 1983) v. 17.
- [7] C. Ulrich, D. Olguin, A. Cantarero, A.R. Goni, R. Syassen, A. Chevy. Phys. Status Solidi (b), **221**, 777 (2000).
- [8] S.I. Drapak, V.N. Katerinchyk, Z.D. Kovalyuk, V.A. Manasson. Phys. Status Solidi (a), **115**, K35 (1989).

Редактор Т.А. Полянская

Effect of uniaxial pressure on the photoconversion parameters of InSe–GaSe optical contact

S.I. Drapak, M.O. Vorobets, Z.D. Kovalyuk

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, Chernovtsi Branch of National Academy of Sciences of Ukraine, 58001 Chernovtsi, Ukraine

Abstract The influence of static pressure, normal to the barrier plane, on the photoconversion parameters of a n -InSe- p -GaSe heterojunctions is investigated. It indicates a possibility to increase essentially the photoconversion efficiency in such structures. For instance, for a n -InSe- p -GaSe optical contact subjected to a pressure of about 35 to 40 kPa an increase of the open circuit voltage nearly twice and the shorting current by a factor not less than five was observed in comparison to the initial samples that allows us to forecast the possibility of the efficiency increase up to 15–16%.