

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.362

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ INGAN В ФОТОВОЛЬТАИКЕ

Аппазов Э.С.

Известно, что максимальная эффективность преобразования солнечного излучения достигается при использовании соединений группы A_3B_5 для изготовления фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) [1]. Это обеспечивается, с одной стороны, -подходящими электрофизическими свойствами соединений этой группы, с другой – возможностью создания твердых растворов на их основе, позволяющих варьировать ширину запрещенной зоны и другие важные для фотоэлектрического преобразования параметры в достаточно широком диапазоне значений и создавать многопереходные ФЭП.

Установленное истинное значение ширины запрещенной зоны нитрида индия [2,3] позволяет посмотреть по-новому на приборное использование этого материала [4]. В системе InN-GaN оказалось возможным получение твердых растворов с шириной запрещенной зоны от 0,78 эВ (InN) до 2,2 эВ (GaN) [5], перекрывающих спектральный диапазон от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного излучения, т.е., создания ФЭП для любой длины волны в этом диапазоне. В настоящей работе мы определим потенциальные возможности ФЭП на основе $In_xGa_{1-x}N$ при преобразовании солнечного излучения.

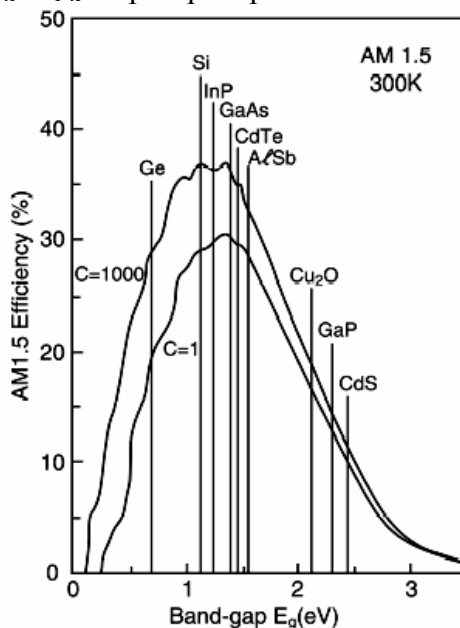


Рис. 1 Зависимость максимального к.п.д. преобразователя солнечного излучения от ширины запрещенной зоны [1]

Рис. 1 демонстрирует зависимость идеального к.п.д. фотопреобразователя от ширины запрещенной зоны E_g материала для однопереходного ФЭП при AM 1,5 и конкретные значения эффективности для некоторых, наиболее эффективных в фотопреобразовании солнечной энергии материалов. Приведенная зависимость показывает, что максимальная эффективность преобразования солнечного излучения будет достигнута при использовании материала со значением E_g между $E_g(\text{InP}) = 1,26$ эВ и $E_g(\text{GaAs}) = 1,424$ эВ. Легко определить, что ширина запрещенной зоны E_g оптимального для солнечного спектра материала примерно составляет 1,334 эВ. Расчетная зависимость $\eta(E_g)$ получена при использовании общего термодинамического подхода, при котором поглощение ка-

ждого фотона с энергией $h\nu > E_g$ сопровождается рождением электрона, дающего вклад в фототок [1]. Отметим, что на сравнительно небольшой энергетический интервал, равный разнице ширины запрещенной зоны GaAs и $E_g(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}) = 1,334$ эВ, приходится около 9% всех фотонов, излучаемых Солнцем. Известно, что не для всех твердых растворов закон Вегарда выполняется строго [6]. Особенности изменения ширины запрещенной зоны твердого раствора $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ в настоящее время точно не установлены. Однако, экспериментальные данные фотолюминесценции (ФЛ) [6] твердых растворов $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, в предположении, что краевая полоса ФЛ формируется зона-зонными переходами, позволяет считать, что закон Вегарда выполняется строго, как это обычно происходит в твердых растворах A^3B^5 с подобной зонной структурой бинарных соединений, образующих твердый раствор.

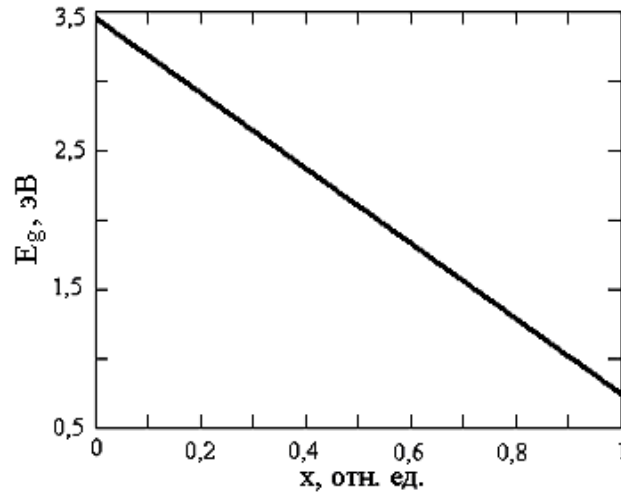


Рис. 2 Зависимость ширины запрещенной зоны твердого раствора $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ от концентрации индия

Зависимость E_g твердого раствора $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ от его состава приведена на рис. 2. Таким образом, можно определить, что ширине запрещенной зоны 1,334 эВ будет соответствовать твердый раствор с мольной долей индия $x = 0,55$. Особенно существенно преимущества $\text{In}_{0,55}\text{Ga}_{0,45}\text{N}$ проявляются при преобразовании концентрированного солнечного излучения, что наглядно демонстрирует рис. 3.

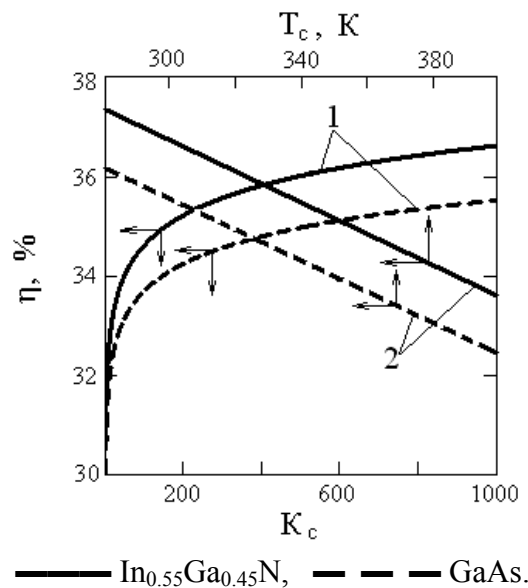


Рис. 3 Зависимость к.п.д. от:
1 - коэффициента концентрации излучения;
2 - температуры преобразователя

Здесь зависимости к.п.д. от степени концентрации K_c рассчитаны для температуры ФЭП 280 К. С увеличением температуры эксплуатации ФЭП, что является характерным при преобразовании концентрированного солнечного излучения, эффективность ФЭП уменьшается [7], но для $In_xGa_{1-x}N$ снижение к.п.д. происходит медленнее, чем для фотопреобразователя на основе арсенида галлия. Если для $T = 280$ К при $K_c =$ разница к.п.д. составляет 0,93 %, то для $T = 340$ К эффективность ФЭП на основе твердого раствора выше на 0,95 %.

Таким образом можно утверждать, что фотопреобразователи на основе твердых растворов $In_xGa_{1-x}N$ могут быть использованы при производстве преобразователей солнечного излучения. Кроме того, температурная стабильность данных материалов делает возможным концентрацию солнечного излучения.

Possibility of application of hard solution of $In_xGa_{1-x}N$ for the production of converters of sun radiation is considered. Solution and his efficiency is offered by comparison to a traditional converter on the basis of antimonide gallium is counted.

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер. с англ. – 2-е перераб. и доп. изд. – М.: Мир, 1984. – 456с.
2. Davydov V. Yu., Klochikhin A. A., Seisyan R. P., Emtsev V. V., Ivanov S. V., Bechstedt F., Furthmueller J., Harima H., Mudryi A. V., Aderhold J., Semchinova O. // J. Phys. stat. sol. (b). – 2002. -229. – P. 195.
3. Miyajima T., Kudo Y., Liu K.-L., Uruga T., Honma T., Saito Y., Hori M., Nanishi Y., Kobayashi T., and Hirata S. Structure Analysis of InN Film Using Extended X-Ray Absorption Fine Structure Method. // Phys. stat. sol. (b). – 2002. - 234, № 3. - P 801–804.
4. S. Shutov, E. Appazov, V.Shostak. New application of InN. // InN, GaN, AlN and related materials, their heterostructures and devices. E-MRS Spreng Meeting 2004. May 24-28 2004. –Strasbourg. - L/PII.03.
5. Davydov V. Yu., Klochikhin A. A., Emtsev V. V., Kurdyukov D. A., Ivanov S. V., Vekshin V. A. Band Gap of Hexagonal InN and InGaN Alloys. // Phys. stat. sol. (b). – 2002. - 234, № 3. – P. 787–795.
6. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. – М.: Мир. - 1986. – 440 с.
7. Wysocki J.J., Rappaport P. Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion. // J. Appl. Phus. – 1960. -31. – P. 571