

# Влияние легирования фосфором на фазовый состав, структуру и времена жизни фотогенерированных носителей заряда теллурида кадмия

Поликарпов Д.С., Луценко Д.С.

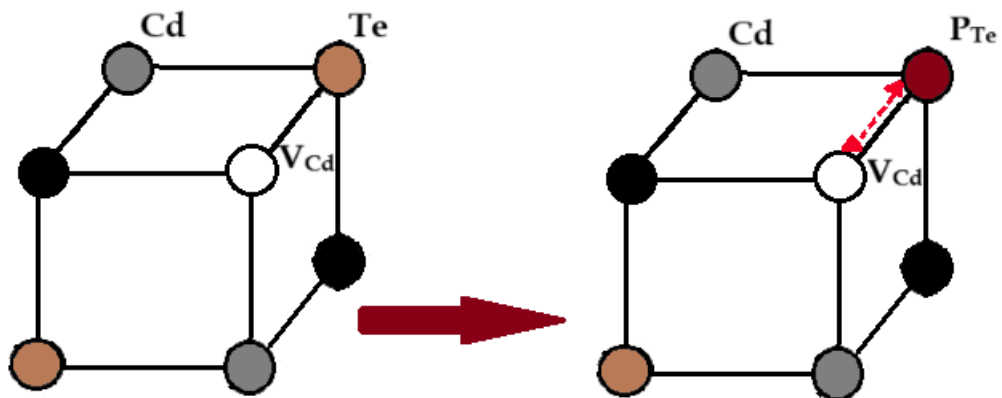
## Аннотация

Теллурид кадмия является популярным материалом для создания солнечных батарей благодаря оптимальному значению ширины запрещенной зоны  $E_g \approx 1.5$  эВ и большому коэффициенту поглощения света - около  $5 \cdot 10^5$  см<sup>-1</sup>[1]. В настоящее время КПД наиболее эффективных батарей на основе теллурида кадмия достигает 23%. Однако существенным недостатком таких батарей является наличие стадии высокотемпературной галогенидной активации, где используются высокотоксичные растворимые соли кадмия [2], кроме того, он достаточно высокотемпературный, что ограничивает диапазон материалов для подложек. Отказ от этой стадии позволил бы существенно повысить экологичность производства батарей на основе теллурида кадмия.

В данной работе показана возможность создания пленок теллурида кадмия с высокой фотопроводимостью и низким удельным сопротивлением без стадии хлоридной активации путем легирования их фосфором.

Для исследований был проведен твердофазный ампульный синтез образцов модельных систем-порошков CdTe-Cd<sub>3</sub>P<sub>2</sub> и CdTe-P из элементных Cd, Te и P с содержанием фосфора  $10^{20}$ - $10^{16}$  и  $10^{21}$ - $10^{17}$  ат. P./см<sup>3</sup> соответственно. Исследование структуры образцов методом РФА (PANalytical Aeris, излучение Cu-K<sub>α</sub>) показало, что для серии образцов CdTe-P граница твердых растворов лежит до концентрации  $10^{21}$ , а для CdTe-Cd<sub>3</sub>P<sub>2</sub> -  $10^{20}$  ат. P./см<sup>3</sup>. Методом низкотемпературной (77 К) фотолюминесценции (ЭЛЮМИН-2М) было установлено, что для обеих серий спектры идентичны, разложение их кривыми Лоренца показывает максимумы с энергиями около 1.54, 1.45 и 1.41 эВ, которые соответствуют межзонному переходу, комплексу [V<sub>Cd</sub>-P] и комплексам собственных дефектов соответственно [3, 4]. Отличалась лишь интенсивность линий. Таким образом, при легировании фосфором в виде элемента только часть его участвует в образовании центров люминесценции – та, которая в результате химической реакции переходит в степень окисления “3-“ Методом времязрешённой микроволновой фотопроводимости (УНУ «Микроволновая фотопроводимость 36 ГГц») установлено, что для обеих серий образцов характерно значительное увеличение времен жизни носителей заряда по сравнению с нелегированным образцом - с 6 нс до 200 мкс в обеих сериях, при этом спад был

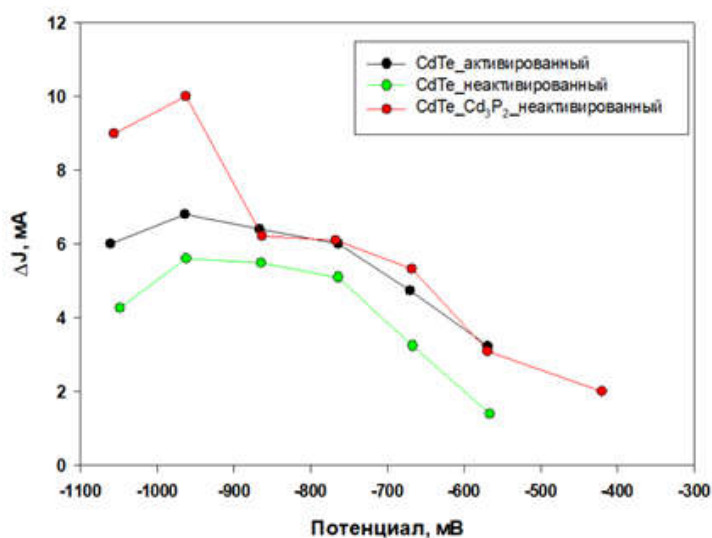
двухкомпонентным, что может свидетельствовать об образовании неглубокого донорного уровня. Таким образом, увеличение времен жизни фотогенерированных носителей тока при легировании его фосфором может быть обусловлено изменением его дефектной структуры - заменой глубокой ловушки -  $V_{Cd}$ , имеющейся в нелегированном CdTe [5] на более мелкую - ассоциат  $[V_{Cd}-P]$  (рис. 1).



**Рис.1. Схематический процесс легирования фосфором**

Из синтезированных порошков методом физического испарения в вакууме (PVD) были получены пленки теллурида кадмия на подложке ИТО/стекло, из которых были изготовлены фотоэлектрохимические ячейки.

Исследование свойств ячеек в условиях освещения, близких к AM1.5 показало, что фототок в них сопоставим с таковым для устройств на основе пленок CdTe, активированных по стандартной методике (рис.2).



**Рис.2. Зависимость фототока от потенциала фотоэлектрохимических ячеек .**

Кроме того, образцы обладали близкими значениями последовательного удельного сопротивления.

Таким образом, при введении в кристаллическую решетку теллурида кадмия фосфида кадмия высокотемпературная хлоридная активация не требуется.

### **Список литературы**

1. Luque A., Hegedus S. (ed.). Handbook of photovoltaic science and engineering. – John Wiley & Sons, 2011.
2. Луценко, Д. С., Гапанович, М. В., Один, И. Н. “Исследование особенностей активации пленок CdTe смесью галогенидов кадмия” //Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах (ФАГРАН-2018). – 2018. – С. 298-300.
3. Kraft C., Brömel A., Schönherr S., Phosphorus implanted cadmium telluride solar cells, Thin Solid Films, Volume 519, Issue 21, 2011, (7153-7155).
4. Hwang H. L., Hsu K. Y. J., Ueng H. Y. Fundamental studies of p-type doping of CdTe //Journal of crystal growth. – 1996. – Т. 161. – №. 1-4. – С. 73-81.
5. Armani N., Ferrari C, Salviati G., Defect-induced luminescence high-purity undoped CdTe crystals // J. Phy.: Condens Matter., 2002, № 14. P.13203 – 13209