

---

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА  
SEMICONDUCTOR MICROELECTRONICS

---

ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОП СТРУКТУРЫ  
Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-p-CdTe-Mo – В ПРЯМОМ НАПРАВЛЕНИИ ТОКА

*А.К.Утениязов, К.А.Исмайлов, Ф.Т.Сражатдинова*

Каракалпакский Государственный университет, Нукус, Узбекистан

*Аннотация.* Приведены результаты исследований прямой ветви вольт–амперной характеристики структуры Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-p-CdTe-Mo с толщинами базы  $d \sim 8-10 \mu\text{m}$ . Показано, что в рекомбинационных процессах в базе исследуемой структуры участвуют наряду с точечными дефектами-примесями сложные комплексы. Установлено, что при малых плотностях тока в рекомбинационных процессах участвуют точечные дефекты, а при больших плотностях тока, когда скорость рекомбинации выходит на полное насыщение  $U \approx N_R/\tau$ , рекомбинационные процессы в исследуемых образцах определяются сложными комплексами, внутри которых происходит задержка электронов.

*Ключевые слова:* МОП структура, пленка, инжекционный фотоприемник, рекомбинационные процессы.

VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF MOS STRUCTURES  
Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-p-CdTe-Mo – IN THE FORWARD DIRECTION OF CURRENT

*A. K. Uteniyazov, K. A. Ismailov, F. T. Srajatdinova*

Karakalpak state University, Nukus, Uzbekistan

*Abstract.* The results of studies of the direct branch of the current – voltage characteristic of the Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-p-CdTe-Mo structure with base thicknesses  $d \sim 8-10 \mu\text{m}$  are presented. It was shown that, along with point defects and impurities, complex complexes participate in the recombination processes in the base of the structure under study. It was established that at low current densities in point of recombination processes point defects take part, and at high current densities, when the recombination rate reaches full saturation of  $U \approx N_R/\tau$ , the recombination processes in the samples under study are determined by complex complexes within which the electrons are delayed.

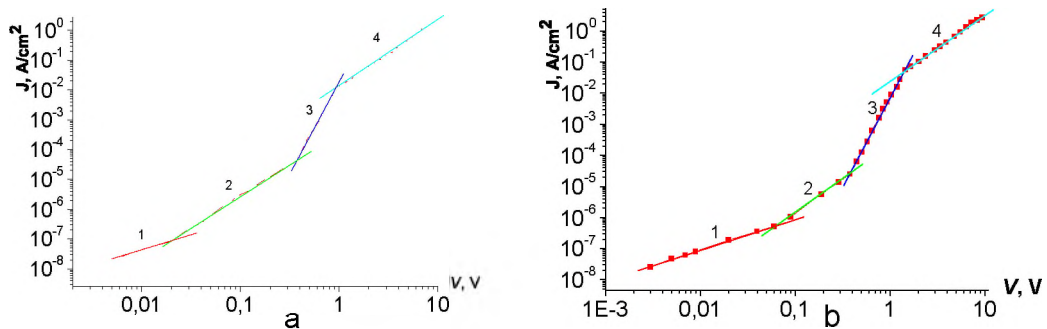
*Key words:* metal-oxide-semiconductor structure, tape, injection photodetector, recombination processes

На сегодняшний день в мире широко используют фотодиоды в регистрирующих и измерительных приборах фотометрии, в киноаппаратуре, фототелеграфии и т.д. Существенным недостатком фотодиодов является низкая токовая фоточувствительность, так как в них квантовый выход не может быть выше единицы. Их использование в режиме лавинного умножения возможно только при очень жестких

требованиях к стабильности температуры и напряжения питания. Этим недостатком лишены инжекционные фотодиоды – новый класс фотоприемников с внутренним усилением. Известные инжекционные фотодиоды на основе Ge, S, и GaAs являются эффективными для ИК области спектра. Однако, для УФ области создание инжекционного фотоприемника требует своего решения. С этой точки зрения создание инжекционных фотоприемников для УФ области на основе полупроводниковых соединений  $A^2B^6$  представляется актуальной и перспективной задачей, поскольку эти материалы имеют ширину запрещенной зоны, соответствующую полному спектру видимого и частично ультрафиолетового света, для них характерны прямые оптические переходы, что позволяет получать высокую эффективность генерации электронно-дырочных пар. Отсюда вытекает цель данной работы.

Для решения поставленных задач были получены пленочные структуры  $p$ -CdTe со столбчатой структурой зерен на Mo подложке методом сублимации в потоке водорода. На поверхности полученных пленок  $p$ -CdTe была создана МОП структура путем напыления алюминия в вакууме ( $\sim 10^{-5}$  Torr) [1]. Электрический фронтальный контакт из алюминия (Al) имел толщину  $\sim 40$  nm и площадь  $S \approx 0.07 \div 0.1$  см<sup>2</sup>. Тыловым электрическим контактом являлась Mo-подложка. Пленки  $p$ -CdTe имели удельное сопротивление  $\rho \approx 10^9 - 10^{11}$  Ω·см и время жизни неосновных носителей-электронов  $\tau \approx 10^8 \div 10^{-7}$  s. Проведенный рентгеноструктурный анализ показал [2-3], что в проведенном технологическом процессе образуется тонкий окисный слой  $Al_2O_3$  с толщиной  $\sim 30$  nm, но этот слой играет очень важную роль в работе полученной структуры. Именно благодаря ему здесь получается не структура металл – полупроводник, а МОП-структура, а именно Al- $Al_2O_3$ - $p$ -CdTe (металл Al, окисел  $Al_2O_3$ , полупроводник CdTe).

Исследовались ВАХ структуры как в прямом, так и в обратном направлениях в широких пределах изменения тока и напряжения. Прямым считалось, когда “+” прикладывался к Mo. На рис. 1а и 1б показаны прямые ветви ВАХ для двух образцов с толщиной базы  $\sim 8$  μm и 10 μm.



**Рис.1.** Прямая ветвь ВАХ структуры Al- $p$ -CdTe-Mo в двойном логарифмическом масштабе в темноте при  $T=300$ К. Образец №1: 1-1, 2-2, 3-6.43, 4-2; ( $a-w=8$  μm), образец №2: 1-1, 2-2, 3-5.71, 4-2; ( $b-w=10$  μm).

Эти ВАХ содержат четыре степенных участка типа  $J=AV^n$ . Видно, что при малых уровнях инжекции  $n=1$ , база не модулируется. Далее идет  $J \sim AV^2$ , потом участок резкого роста и далее снова квадратичный участок. Эти длины базы соответствуют  $d/L_n$

$\geq 8 \div 10$ , т.е., соответствуют случаю, когда имеют место быть полевые режимы. В первую очередь, наблюдается известный закон Ламберта  $J \sim AV^2$ , что соответствует второму участку. Последующие участки ВАХ хорошо объясняется теорией [4], которая основана на предположении, что рекомбинация носителей происходит через точечные (дефекты) примеси только при не очень высоком уровне инжекции. С ростом уровня инжекции в рекомбинационных процессах участвуют сложные двухуровневые комплексы, внутри которых происходит задержка электронов. Эта теория позволяют объяснить 3 и 4 участки.

Таким образом, установлено, что при малых плотностях тока в рекомбинационных процессах участвуют точечные дефекты, а при больших плотностях тока, когда скорость рекомбинации выходит на полное насыщение  $U \approx N_R/\tau_i$ , рекомбинационные процессы в исследуемых образцах определяются сложными комплексами, внутри которых задерживаются электроны.

### *Литература*

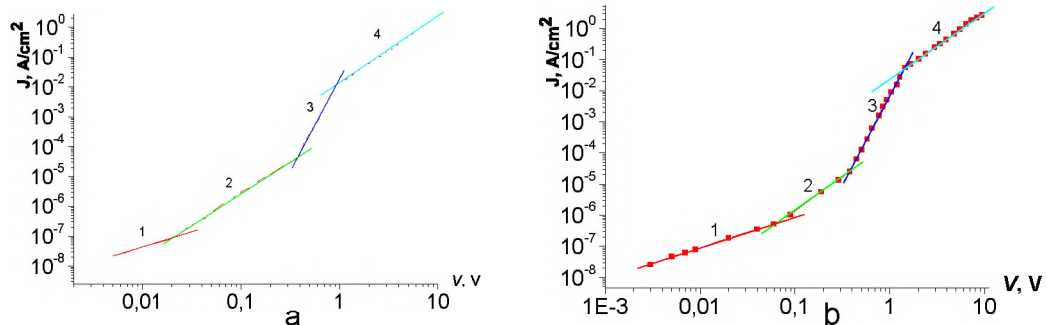
1. Sh.A.Mirsagatov, A.K. Uteniyazov, Technical Physics Letters 38, 1. 34 (2012).
2. Ш.А.Мирсагатов, С.А. Музафарова, М.С. Баиев, А.С. Ачилов, Узбекский физический журнал 12, 154 (2010).
3. А.С. Ачилов, Б.Н. Заверюхин, М.У. Каланов, В.М. Рустамова, Доклады Академии наук, 2, 24 (2014).
4. А.Ю. Лейдерман, М.К. Минбаева, Физика и техника полупроводников 30, 11, 1729 (1996).

*The text of the article is translated by Editorial of journal of “Semiconductor Physics and Microelectronics”. For more information contact: [ispm\\_uz@mail.ru](mailto:ispm_uz@mail.ru)*

Today, photodiodes are widely used in the world in photometric recording and measuring devices, in cinema equipment, photo telegraphy, etc. A significant drawback of photodiodes is the low current photosensitivity, since the quantum yield in them cannot be higher than unity. Their use in the avalanche multiplication mode is possible only with very stringent requirements for temperature stability and supply voltage. Injection photodiodes are deprived of these shortcomings - a new class of photodetectors with internal amplification. Known injection photodiodes based on Ge, S, and GaAs are effective for the IR region of the spectrum. However, for the UV region, the creation of an injection photodetector requires its own solution. From this point of view, the creation of injection photodetectors for the UV region based on A<sup>2</sup>B<sup>6</sup> semiconductor compounds seems to be an urgent and promising task. Since these materials have a band gap corresponding to the full spectrum of visible and partially ultraviolet light, they are characterized by direct optical transitions, which allows one to obtain high efficiency generation of electron-hole pairs. This implies the purpose of this work.

To solve the problems posed, *p*-CdTe film structures were obtained from the columnar grain structure on a Mo substrate by sublimation in a hydrogen stream. An MOS structure was created on the surface of the obtained *p*-CdTe films by sputtering aluminum in vacuum (~ 10<sup>-5</sup> Torr) [1].

To solve the problems posed, *p*-CdTe film structures were obtained from the columnar grain structure on a Mo substrate by sublimation in a hydrogen stream. An MOS structure was created on the surface of the obtained *p*-CdTe films by sputtering aluminum in vacuum (~ 10<sup>-5</sup> Torr) [1]. The electric front contact made of aluminum (Al) had a thickness of ~ 40 nm and an area of S≈0.07÷0.1 cm<sup>2</sup>. The rear electrical contact was the Mo – substrate. *p*-CdTe films had a resistivity of ρ≈10<sup>9</sup>–10<sup>11</sup> Ω · cm and a minority carrier – electron lifetime of τ ~ 10<sup>-8</sup>÷10<sup>-7</sup> s. The X-ray diffraction analysis showed [2–3] that a thin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxide layer with a thickness of ~ 30 nm is formed in the technological process, but this layer plays a very important role in the operation of the obtained structure. It is thanks to him that it is not the metal – semiconductor structure that is obtained here, but the MOS – structure, namely, the Al – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – *p*-CdTe (Al metal, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxide, CdTe semiconductor).



**Fig. 1.** *The direct I – V characteristic branch of the Al-p-CdTe-Mo structure on a double logarithmic scale in the dark at T = 300K. Sample No. 1: 1-1, 2-2, 3-6.43, 4-2; (a-w = 8 μm), sample No. 2: 1-1, 2-2, 3-5.71, 4-2; (b-w = 10 μm).*

The I – V characteristics of the structure were studied both in the forward and reverse directions over a wide range of changes in current and voltage. It was considered direct when “+” was applied to Mo. In fig. Figures 1a and 1b show the straight branches of the I – V characteristic for two samples with a base thickness of ~ 8 μm and 10 μm.

These CVCs contain four power sections of the type  $J = AV^\alpha$ . It can be seen that at low injection levels  $\alpha = 1$ , the base is not modulated. Next comes  $J \sim AV^2$ , then a sharp growth section and then again a quadratic section. These base lengths correspond to  $d / L_n \geq 8 \div 10$ , i.e., correspond to the case when field regimes take place. First of all, the well-known Lambert law  $J \sim AV^2$  is observed, which corresponds to the second section. The subsequent sections of the I – V characteristic are well explained by the theory [4], which is based on the assumption that carrier recombination occurs through point (defects) impurities only at a not very high injection level. With an increase in the level of injection, complex two-level complexes participate in recombination processes, inside which an electron delay occurs. This theory allows us to explain sections 3 and 4.

Thus, it was found that, at low current densities, point defects are involved in recombination processes, and at high current densities, when the recombination rate reaches full saturation  $U \approx N_R / \tau_i$ , the recombination processes in the samples under study are determined by complex complexes inside which electrons are trapped.