

## ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРИОДОВ ИЗ СУЛЬФИДА КАДМИЯ

*Б.П. Зотьев, М.Н. Ильин, В.В. Коняшин,  
Б.В. Морозов, Г.В. Полина, Б.С. Потапов, А.А. Сохин*  
(Новосибирск)

Общие свойства и основной механизм работы пленочного полевого триода (ППТ), предложенного Ваймером [1], изучены достаточно полно. Остаются во многом неясными детали поведения ППТ, например, причины отказов при хранении, нестабильность характеристик под нагрузкой и другие.

В данной работе описываются замеченные авторами особенности вольтамперных характеристик (ВАХ) триодов в зависимости от условий испытаний и, в какой-то мере, от технологии изготовления.

### 1. Технология получения и конструкция ППТ

ППТ ступенчатой конструкции изготавливались вакуумным напылением через молибденовые маски с пооперационным выносом на воздух и применением отжига пленок  $CdS$ .

Электроды исток-сток служили слой титана толщиной 2000-3000 Å. Пленка  $CdS$  толщиной 3000-7000 Å осаждалась на нагретую до 250-300°C подложку из молибденового источника при температуре 700-750°C. Отжиг пленок проводился в муфельной печи при 300-400°C в течение 10-30 мин.

Изолирующий слой толщиной 1000-2000 Å получался испарением монооксида кремния при температуре 1100-1300°C на нагретую до 100-150°C подложку.

В качестве затвора использовалась алюминиевая пленка толщиной 700-1000 Å, саженная на холодную подложку.

При изготовлении ППТ давление поддерживалось на уровне  $1 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст.

Все полученные таким способом триоды были обогащенного типа, и для них верны основные закономерности, описанные в литературе.

## П. Экспериментальные наблюдения

### Действие света

Известно, что при освещении белым светом возрастают стоковые токи и крутизна вольтамперных характеристик ППТ. Нами было замечено, что в зависимости от величины нулевого тока вольтамперные характеристики (ВАХ) могут быть разделены на две группы:

1. С насыщением фототока при некоторой интенсивности подсветки (рис. 1а,б). Для ППТ этой группы характерна значительная величина нулевого тока (более 300 мкА), причем интенсивность подсветки, соответствующая насыщению, не зависит от затворного напряжения.

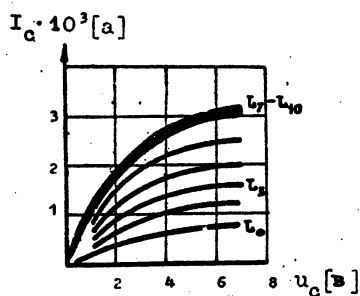
2. Не имеющие насыщения фототока в используемом диапазоне освещенности (до  $10^4$  лк) и характеризующиеся малым нулевым током (рис. 1в).

После прекращения освещения ВАХ ППТ, как правило, возвращались к исходным за весьма значительное время (1-2 суток) (рис. 2).

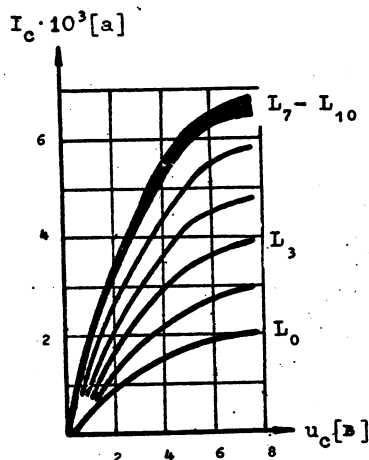
Описанные особенности ВАХ связаны с локализацией заряда на ловушках и качественно могут быть объяснены с помощью схемы электронных переходов, содержащей уровень прилипания и два уровня рекомбинации [2].

### Действие электрических нагрузок и температуры

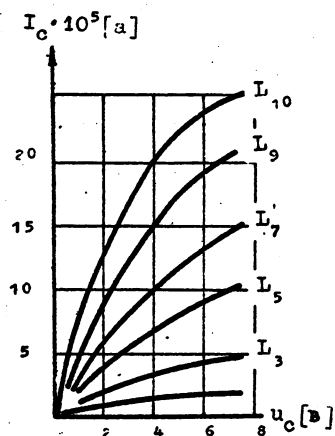
При снятии ВАХ использовался характериограф с одновременным и раздельным фиксированием стоковых и затворных токов. Эксперименты проводились в условиях комнатных температур и освеще-



а)



б)



в)

Рис. I. Вольтамперные характеристики ППТ в зависимости от освещенности ( $L_{10} = 10$  лк): а, б - с насыщением фототока: а -  $U_3 = 3$  в, б -  $U_3 = 7$  в; в - без насыщения фототока,  $U_3 = 6$  в.

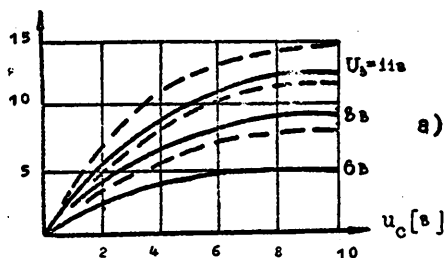
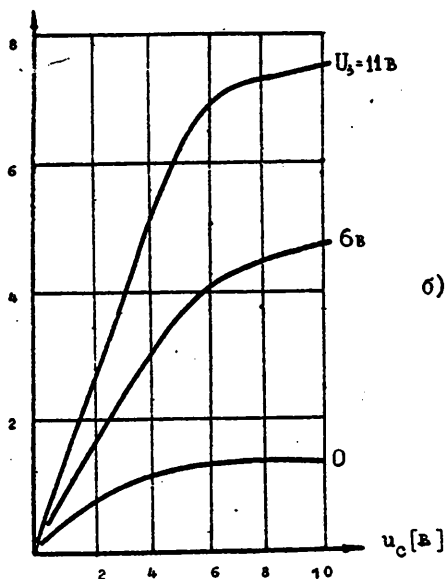
$I_c \cdot 10^5 [a]$ 

Рис. 2. Вольтамперные характеристики ППТ в темноте

а - до освещения, пунктиром показаны ВАХ через сутки после освещения;

б - непосредственно после освещения.

 $I_c \cdot 10^4 [a]$ 

ценности. Обнаружено, что в триодах с пленкой диэлектрика  $SiO_x$  (предположительно содержащей избыток кремния), и утечкой через диэлектрик при положительном потенциале на полевом электроде, утечку можно было уменьшить или исключить полностью приложением отрицательного напряжения на затвор. При этом происходило запирающее стокового тока, но прекращался и затворный ток. После некоторой выдержки полевого электрода под отрицательным потенци-

алом подавалось вновь рабочее смещение (положительный потенциал) и наблюдались стоковые токи и "управляемость" триода, но отмечалось отсутствие затворных токов. Происходила временная, "формовка" ППТ. Через несколько часов, иногда двух-трех десятков часов, ВАХ возвращались к первоначальным. Для некоторых образцов, защищенных пленкой  $SiO_x$  (предполагается, что пленка близка к  $SiO_2$ ) приложение отрицательного потенциала той же величины, что и рабочий положительный потенциал (максималь-

ное напряжение на затворе в наших экспериментах  $U_z = U_c = 10\text{в}$ ) вызывало пробой диэлектрика.

Эти наблюдения побудили нас исследовать отдельные образцы пленок  $\text{CdS}$  и системы  $\text{CdS} + \text{SiO}_x$  полученных в одной партии с триодами.

В подавляющем большинстве образцов обнаружено неравномерное распределение потенциала вдоль пленки  $\text{CdS}$  и участки локального сосредоточения поля. Подобное явление описано для кристаллов  $\text{CdS}$  [3].

При изучении параметров ловушек в пленках  $\text{CdS}$  методом термостимулированных токов было обнаружено постепенное изменение и, в конце концов, исчезновение пиков термостимулированного тока (после 3 + 5 термоциклов). При этом возрастает величина темнового тока и фототока (рис. 3).

Интересно отметить, что примерно такое же поведение обнаруживают пленки  $\text{CdS}$  после нанесения диэлектрика  $\text{SiO}_x$  исчезают или становятся сильно размытыми отдельные максимумы термостимулированного тока и увеличивается проводимость пленки

$\text{CdS}$ . Нами найдено, что нанесение пленки  $\text{SiO}_x$  приводит к появлению медленных ловушек с энергией активации  $E_1 = 0,6\text{ эв}$  и  $E_2 = 0,8\text{ эв}$  и увеличению концентрации глубоких ловушек. Наши данные хорошо согласуются с опубликованными [4].

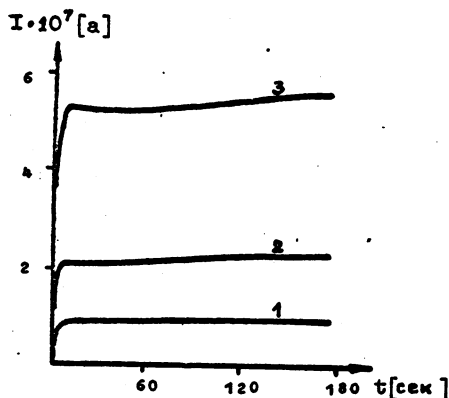
Анализ подобных явлений и опубликованных в литературе данных заставляют нас предположить образование как в объеме пленки  $\text{CdS}$  так и в приповерхностном слое - границе  $\text{CdS} - \text{SiO}_x$  поляризованных состояний, имеющих, по-видимому, чисто электронную природу и ответственных за нестабильность ВАХ ППТ во времени и от условий окружающей среды.

#### Длительная электрическая нагрузка на ППТ

Обычно при испытаниях ППТ на срок службы задают постоянные смещения на затвор и сток. При этом наблюдается рост (в течение первых 2-4 суток), а иногда падение (более длительное - до 10-30 суток) стокового тока во времени с двумя возможными исходами: дальнейшей стабилизацией его значения или уменьшением стокового тока до полного его исчезновения [5,6].

Такой режим "старения" ППТ можно наблюдать так же как уменьшение "управляемости" или полную её потерю в используемом диапазоне затворных напряжений.

При кратковременном (по сравнению с длительностью испытаний) прерывании процесса непрерывного испытания ППТ с целью



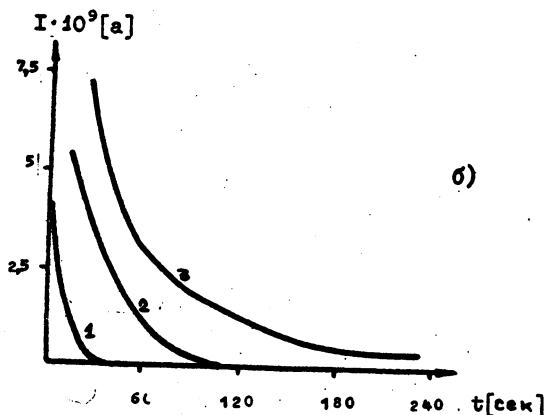
а)

Рис. 3.

Кривые релаксации фототока после термоциклирования (в диапазоне  $-150 + +100^{\circ}\text{C}$ ). Цифрами обозначено число проведенных термоциклов.

а - при включении освещения,

б - при выключении освещения.



б)

снятия контрольного семейства ВАХ, последние, как правило, отличаются от первоначальных большими стоковыми токами.

Кроме испытаний такого типа, уже известных, нами изучались ВАХ ППТ при пилообразной развертке стокового напряжения и постоянном затворном напряжении. Отметим, что характерных для ППТ значительных изменений тока в первые  $70 + 100$  часов не наблюдалось. При снятии ВАХ триодов после такого цикла испытаний, они, как правило, мало отличались от первоначальных.

Затворные токи не претерпевали заметных изменений при обоих способах испытаний.

### З а к л ю ч е н и е

Описанные особенности характеристик ППТ не имеют в настоящее время исчерпывающего объяснения. Их проявление существенно зависит от технологии изготовления.

Для объяснения опытных данных авторы предполагают возникновение поляризационного состояния на границе  $\text{CdS} - \text{SiO}_2$ .

По предварительным данным периодическое отключение стокового напряжения продлевает "срок службы" ППТ под нагрузкой. Это открывает возможность использовать ППТ в схемах, допускающих коммутацию питания.

### Л и т е р а т у р а

1. Weimer P.K. Proc.IRE, 1962, vol.50, N 6, p.1462.
2. Б.П. Зотьев и др. Влияние ловушек на характеристики племочного полевого триода (готовится к печати).
3. В.Ф. Бибики, П.Г. Борзяк, О.Т. Сарбей. ФТТ, 1962, т. 4, № II, с. 3003.
4. А.Г. Ждан, А.Д. Ожередов, М.И. Елинсон. Радиотехника и электроника, 1967, т. 12, № 3, с. 569.
5. Reinhartz K.K. and oth. IEEE Trans. on Component Parts, 1964, vol.CP-11, N 2, p.27-33.
6. Reinhartz K.K., Russell V.A. Solid-state Electronics, 1966, vol.9, N 10, p. 911-918.