

УДК 621.3.049

В.М. АРУТЮНЯН, А.А. КАРАГЕЗОВ

### ТЕРМОГЕНЕРАЦИЯ ЗАРЯДА В ТРЕХФАЗНЫХ ФОТОПРИЕМНЫХ ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Рассматриваются процесс термогенерации в фотоприемных приборах с зарядовой связью и возможность оценки среднего уровня темнового заряда. Приводятся экспериментальные результаты, полученные для приборов типа А1042.

В фотоприемных приборах с зарядовой связью (ФПЗС) одной из причин, снижающих точность преобразования световой информации в электрический сигнал, является термогенерация носителей на различных стадиях преобразования, приводящая к накоплению так называемого темнового заряда [1]. Этот заряд, накапливаясь в ячейках ФПЗС-строки, образует некоторый паразитный уровень (пьедестал), что при генерации освещением полезного сигнала может привести к преждевременному переполнению ячеек и смешиванию зарядовых пакетов, в результате чего нарушится соответствие между зарядовым рельефом и распределением освещенности на поверхности прибора. Ощутимый вклад в искажение информации вносит неравномерность распределения темнового заряда по строке. В некоторых ячейках могут наблюдаться пики темнового заряда. Причиной этого в основном служит неоднородное распределение центров генерации в полупроводнике или на границе раздела полупроводник-окисел, связанных с локализованными примесями и дефектами кристаллической решетки. В настоящее время достигнут уровень неравномерности темнового заряда порядка 2% [2], что позволяет данный фактор в ряде случаев не учитывать.

В ФПЗС термогенерация имеет место как на стадии накопления заряда, генерированного светом, так и в процессе переноса зарядовых пакетов. Составляющими термогенерации на стадии накопления являются генерация в обедненном слое (ОС) МОП-элемента ячейки и поверхностная генерация (вблизи границы полупроводник-окисел). Диффузией носителей из нейтральной области полупроводника в ОС можно пренебречь, поскольку ее вклад практически несущественен. Еще одним источником темнового заряда является поверхностная генерация под электродами соседних МОП-элементов данной ячейки. В результате этого образованные носители скатываются в более глубокую потенциальную яму накапливающего элемента. Величину данной составляющей можно значительно снизить, приведя к нулю потенциал нижнего уровня обедняющего импульса.

Процессы термогенерации в обедненном слое и на поверхности

накапливающего элемента ячейки ФПЗС можно описать с применением общих выражений анализа, по Шокли и Риду, генерационно-рекомбинационных процессов через одиночные примесные центры. В результате подобного анализа, проведенного в [3], получены выражения для концентрации носителей, генерированных в ОС и на поверхности, в зависимости от времени накопления при отсутствии возбуждения светом. Общее выражение для суммарного заряда в накапливающем элементе ячейки в явном виде получить сложно. В этом случае необходимо учитывать изменение ширины обедненного слоя, что приводит, как следует из [3], к снижению уровня термогенерации в ОС. Кроме того, уменьшается и поверхностная генерация, так как почти все поверхностные ловушки очень быстро заполняются частью неравновесного заряда, генерированного светом.

В процессе переноса зарядовых пакетов влияние термогенерации оказывается несущественным. Дело в том, что при накоплении заряда МОП-элементом в соседних элементах ячейки процессы тепловой генерации уравновешены рекомбинацией, а поверхностная генерация, как уже указывалось, дает вклад в суммарный заряд накапливающего элемента. При переносе накопленный заряд заполняет образующуюся потенциальную яму соседнего МОП-элемента, затем следующего и так далее. Однако время хранения заряда в режиме переноса значительно меньше времени накопления, особенно при работе ФПЗС на средних и высоких частотах переноса, и потому термогенерированный заряд не достигает заметной величины. В частности, в [3] для заряда, генерированного на поверхности принимающего элемента в режиме переноса, получено

$$n_s(t) = \left[ \frac{2b_s(1-b_s)N_{ts}}{\lambda\gamma_n\tau_s^2} t + \left( \frac{Q}{qx_k} + \frac{1}{\gamma_n\tau_s} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{1}{\gamma_n\tau_s}, \quad (1)$$

где  $Q$  — поверхностная плотность зарядового пакета, поступающего в элемент,  $N_{ts}$  — поверхностная концентрация поверхностных ловушек,  $\lambda$  — геометрический параметр, определяющий эффективную толщину области, в которой расположены поверхностные ловушки;  $b_s = \gamma_p p_1 \tau_s$ ,  $\tau_s$  — время жизни,  $p_1$  — концентрация при  $E_F = E_t$ , где  $E_t$  — энергетический уровень ловушек;  $\gamma = \sigma v_T$ , где  $\sigma$  — эффективное сечение захвата,  $v_T$  — тепловая скорость,  $x_k$  — глубина инверсного (поверхностного) слоя, в котором локализуются носители. Если пренебречь временем хранения в режиме переноса по сравнению с временем накопления и считать перенос мгновенным, то, как следует из (1),

$$n_s(t=0) = \frac{Q}{qx_k}, \quad (2)$$

что представляет собой начальную концентрацию электронов, определяемую величиной поступающего в элемент зарядового пакета.

Таким образом, можно утверждать, что в ФПЗС основной вклад в искажение информации процессы термогенерации вносят на стадии преобразования светового излучения в заряд. Основным источником темнового заряда в этом случае является генерация в обедненном слое и на поверхности накапливающего элемента ячейки.

Для экспериментальной оценки среднего уровня темнового заря-

да обычно используется метод, в котором генерируемый в течение определенного времени в отсутствие освещенности темновой заряд переносится через строку ФПЗС и считывается на ее выходе. Однако это удается не всегда, так как возникает трудность, связанная с тем, что в случае малых времен накопления, деградированный вследствие переносов темновой заряд невозможно зафиксировать из-за его малости. Для устранения этого недостатка можно использовать определенный зарядовый уровень, образуемый светом. Так, напр., если при комнатной температуре в течение некоторого времени накопления генерировать в приборе заряд под действием освещенности  $E$ , то суммарный заряд  $Q_{\Sigma 1}$  будет равен сумме  $Q_C$  и  $Q_T$ , где  $Q_T$  — темновой заряд. Затем тот же процесс следует повторить при более низкой температуре, когда термогенерацию можно считать отсутствующей. Тогда величину темнового заряда можно оценить как

$$Q_T = Q_{\Sigma 1} - Q_{\Sigma 2}, \quad (3)$$

где  $Q_{\Sigma 2}$  — суммарный заряд, зафиксированный во втором случае. Однако здесь сказывается влияние процессов переноса на точность результата. Рассмотрим  $j$ -тую ячейку строки. Для заряда, зафиксированного на выходе при температуре  $T_1$  и  $T_2 < T_1$ , запишем соответственно

$$\begin{aligned} Q'_1 &= H_{\Pi}(\epsilon, j)Q_1, \\ Q'_2 &= H_{\Pi}(\epsilon, j)Q_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $Q_1 = Q_C + Q_T$ ,  $Q_2 = Q_C$ ,  $H_{\Pi}(\epsilon, j)$  — передаточная функция строки ФПЗС,  $\epsilon$  — неэффективность переноса заряда. Тогда для оценки величины темнового заряда

$$Q'_1 - Q'_2 = (Q_1 - Q_2)H_{\Pi}(\epsilon, j) = Q_T H_{\Pi}(\epsilon, j), \quad (5)$$

откуда видно искажение реального значения  $Q_T$ . Кроме того, если учесть зависимость неэффективности переноса от температуры, что аналитически весьма трудно, то выражение (5) примет вид

$$Q'_1 - Q'_2 = Q_T [H_{\Pi}(\epsilon(T_1), j) - H_{\Pi}(\epsilon(T_2), j)]. \quad (6)$$

С целью устранения вышеуказанных недостатков целесообразно использовать неразрушающее считывание суммарного заряда строки методом плавающего потенциала [4]. В трехфазном ФПЗС (каждая ячейка состоит из трех МОП-элементов) все одноименные электроды соединены общей фазной шиной. Если равномерно осветить всю строку, то заряд в каждой ячейке будет накапливаться под одноименными электродами, на которые подано обедняющее напряжение. Сняв это напряжение с фазной шины в определенный момент времени, электроды окажутся под "плавающим" потенциалом, и на каждом из них будет индуцирован потенциал, соответствующий величине хранимого зарядового пакета. С учетом выравнивания потенциалов итоговый потенциал шины окажется равен

$$\varphi = \frac{1}{nC_{ox}} \sum_{j=1}^n Q_j, \quad (7)$$

где  $n$  — число ячеек в строке,  $C_{ox}$  — емкость слоя окисла.

Использование такого метода считывания исключает процессы переноса зарядовых пакетов и, следовательно, связанные с этим неточ-

ности. При определении величины темнового заряда здесь опять-таки целесообразно использование некоторого светогенерированного зарядового уровня. Тогда при температурах  $T_1$  и  $T_2$  будем иметь соответственно

$$\varphi(T_1) = \frac{1}{nC_{ox}} \sum_{j=1}^n (Q_{jC} + Q_{jT}), \quad (8)$$

$$\varphi(T_2) = \frac{1}{nC_{ox}} \sum_{j=1}^n Q_{jC},$$

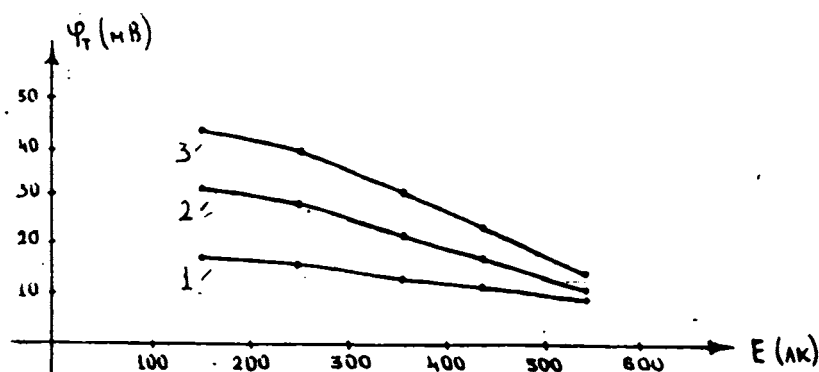
откуда потенциал, соответствующий среднему значению темнового заряда,

$$\bar{\varphi}_T = \varphi(T_1) - \varphi(T_2) = \frac{1}{nC_{ox}} \sum_{j=1}^n Q_{jT} \quad (9)$$

Таблица

E, (лк)	$t_H=10\text{мс}$		$t_H=15\text{мс}$		$t_H=20\text{мс}$	
	$\varphi(T_1)$	$\varphi(T_2)$	$\varphi(T_1)$	$\varphi(T_2)$	$\varphi(T_1)$	$\varphi(T_2)$
	(мВ)	(мВ)	(мВ)	(мВ)	(мВ)	(мВ)
150	65,4	48	105	73	140	96
250	96	80	148	119	200	160
356	127	114	196	174	259,5	228
437	151,5	140	232	214,5	304,5	280
544	183	174	275	264	363	348

Эксперименты проводились нами для строки трехфазного матричного ФПЗС типа А1042. Исследовалась зависимость среднего значения темнового заряда от величины заряда, индуцированного светом, при различных временах накопления. Для этого при различных освещенностях строки измерялся соответствующий потенциал  $\varphi$  для значений температуры  $T_1=300\text{К}$  и  $T_2=250\text{К}$ . Во втором случае согласно расчетам для кремниевых структур термогенерация практически незначительна.



Зависимость потенциала, соответствующего среднему темному заряду ФПЗС-строки от освещенности при различных временах накопления. 1 -  $t_H=10\text{мс}$ , 2 -  $t_H=15\text{мс}$ , 3 -  $t_H=20\text{мс}$ .

Результаты измерений представлены в таблице. На рисунке приведена зависимость  $\varphi_T(E)$ ,  $E$  – освещенность строки. Как видно из графика, с увеличением освещенности наблюдается снижение уровня термогенерации, что связано с увеличением части заряда, генерируемого светом, причем крутизна спада кривой возрастает с возрастанием времени накопления.

Кафедра физики полупроводников  
и диэлектриков

Поступила 29.01.1990

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян В.М., Гаспарян Ф.В. Приборы с зарядовой связью. Изд-во АН Арм. ССР, 1986.
2. Сергеев Ю.С. и др. Матричные ППЗС для международного проекта "Фобос". – Электронная промышленность, 1989, №9, с.42-43.
3. Носов Ю.Р., Шилин В.А. Основы физики приборов с зарядовой связью. М.: Наука, 1986, сс. 42-54, 132-137.
4. Карагезов А.А. Система быстрого обнаружения сигнала строки в приемниках излучения на ПЗС. – Тез. докл. III Республ. науч.-техн. конф.: Новые достижения в области приборостроения. Ер.: 1987, с.57.

#### Ա մ փ ո փ ո մ

Ռիսովում է լիցքային կապով ֆոտոդետեկտիչ սարքերում ջերմագեներացիայի պրոցեսը և ջերմային լիցքի միջին մակարդակի գնահատման հնարավորությունը: Բերվում են էքսպերիմենտալ տվյալներ, ստացված A1042 տիպի սարքերի համար:

#### SUMMARY

The process of thermogeneration in photodetectional CCD and the possibility of evaluation of the average level of dark charge is considered. Experimental data are presented for A1042 type CCD.