

## К АНАЛИЗУ ДЕГРАДАЦИИ ЗАРЯДА ПРИ ПЕРЕНОСЕ В ПЭС-ФОТОПРИЕМНИКАХ

В. М. АРУТЮНЯН, А. А. КАРАГЕЗОВ

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 10 сентября 1989 г.)

Рассмотрен процесс обратного переноса заряда в линейном ПЭС-фотоприемнике. Показано, что для оценки степени деградации заряда при большом количестве переносов в прямом и обратном направлениях, возможно представление прибора в виде эквивалентной удлиненной линейки. Приводятся экспериментальные результаты.

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на характеристики фотоприемников на приборах с зарядовой связью (ПЭС), является деградация заряда при его переносе через прибор [1, 2]. Степень деградации оценивается коэффициентом неэффективности переноса, который определяется путем сравнения двух, оптически индуцируемых зарядовых пакетов, подвергшихся разному количеству переносов [3].

Аналогичным образом оценивается значение неэффективности при электрической инжекции заряда в прибор. В этом случае оба зарядовых пакета поочередно вводятся в дальнюю от выхода прибора ячейку, что позволяет исключить неравенство исходных величин пакетов, которое возможно в [3] из-за разброса фоточувствительности по ячейкам ФПЭС [4]. Разное количество переносов достигается тем, что первый зарядовый пакет переносится однократно вдоль прибора, а второй подвергается нескольким переносам вдоль прибора в прямом и обратном направлениях. Таким образом, движение второго пакета можно представить как перенос вдоль удлиненной в  $m$  раз ПЭС-линейки, где  $m$  — число переносов в прямом и обратном направлениях. Однако, если при переносе исходного заряда в прямом направлении он движется в «пустой» линейке и по достижении выхода прибора оказывается деградированным на некоторую величину потерь, которые определенным образом распределяются по всей линейке, то при обратном переносе оставшаяся в ячейках часть заряда также будет участвовать в переносе. Поэтому в первой ячейке следует ожидать суммирование основного заряда, по крайней мере, с частью первоначально потерянного. В связи с этим возникает вопрос о правомерности эквивалента между реальным процессом переноса и удлиненной линейкой.

Проанализируем данный процесс на примере элементарной линейки трехфазного ПЭС (линейки, состоящей из двух трехфазных ячеек). В общем случае, величина зарядового пакета после  $n$  переносов в «пустой» линейке с учетом рекомбинации через ловушки с характерным временем  $\tau$ , будет равна

$$Q_n = Q(1 - \varepsilon)^n \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (1)$$

где  $Q$  — исходный заряд,  $t$  — время пролета носителей под соседний электрод.

Как известно [5], при относительно высокой скорости переноса заряда в ПЭС, эффектом захвата заряда на ловушки можно пренебречь. В этом случае для основного заряда, перенесенного под последний электрод второй ячейки элементарной ПЭС-линейки (рис. 1а), можно записать

$$Q_A = Q(1 - \varepsilon)^5. \quad (2)$$

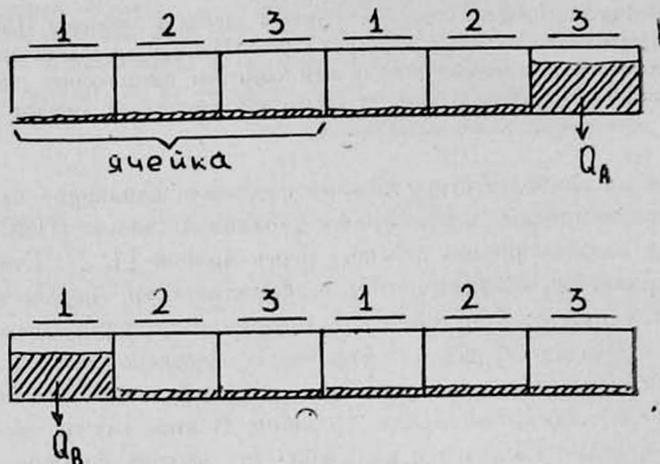


Рис. 1(а, б); а — сверху, б — снизу.

С учетом последовательности переносов в трехфазном ПЭС можно получить выражения для величин зарядов под остальными электродами. К концу обратного переноса, перенесенный из-под этих электродов заряд суммируется под первым электродом первой ячейки с основным зарядовым пакетом, который после себя снова оставляет некоторое распределение потеряннного заряда (рис. 1б). В результате для величины заряда под первым электродом после обратного переноса получается следующее выражение

$$Q_B = Q[\varepsilon^2 + 2\varepsilon^2(1 - \varepsilon)^2 + 3\varepsilon(1 - \varepsilon)^4 + 2\varepsilon^3(1 - \varepsilon)^2 + 6\varepsilon^2(1 - \varepsilon)^4 + \varepsilon(1 - \varepsilon)^6 + \varepsilon(1 - \varepsilon)^8 + (1 - \varepsilon)^{10}]. \quad (3)$$

С учетом группирования членов, для (2) и (3) получим

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{\varepsilon^2}{(1 - \varepsilon)^5} + \frac{2(\varepsilon^2 + \varepsilon^3)}{(1 - \varepsilon)^3} + \frac{3(\varepsilon + 2\varepsilon^2)}{1 - \varepsilon} + \varepsilon(1 - \varepsilon) + \varepsilon(1 - \varepsilon)^3 + (1 - \varepsilon)^5. \quad (4)$$

В реальных ФПЭС достигается значение неэффективности переноса  $\varepsilon$  порядка  $10^{-4}$ . С учетом этого расчеты для (4) дают

$$Q_B / Q_A = 1,0000001.$$

Таким образом, в случае элементарной линейки потери основного заряда при обратном переносе компенсируются частью заряда, потерянного ранее при переносе в прямом направлении. Поэтому эквивалент удлиненной линейки, в данном случае, не отражает истинной картины, поскольку заряд после обратного переноса вновь в первую ячейку практически не меняет свою величину.

В реальных приборах, однако, число ячеек гораздо больше, и число переносов может достигать порядка  $10^3$ . Поэтому интересно проанализировать данный процесс для большого числа переносов.

Пусть число переносов в одном направлении прибора равно  $n$ . Тогда для величины  $Q_A$  можем записать

$$Q_A = Q(1 - \varepsilon)^n. \quad (5)$$

Получить точное аналитическое выражение для величины  $Q_B$  в данном случае достаточно сложно. Однако выявляемая при анализе закономерность позволяет представить выражение для  $Q_B$  в общем виде, выделив наибольший член ряда и сумму остальных членов, следующим образом

$$Q_B = \sum_{k=0}^{n-1} F_k(\varepsilon)(1 - \varepsilon)^{2k} + (1 - \varepsilon)^{2n}, \quad (6)$$

где  $F_k(\varepsilon)$  — некий полином из  $\varepsilon$  в различных степенях для каждого  $k$ . Тогда с учетом (5) можно записать

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \sum_{k=0}^{n-1} F_k(\varepsilon)(1 - \varepsilon)^{2k-n} + (1 - \varepsilon)^n. \quad (7)$$

Анализ данного выражения, с учетом порядка величины  $\varepsilon$  для реальных ФПЗС показывает, что при увеличении числа переносов значение  $Q_B / Q_A$  будет уменьшаться, причем первое слагаемое, за счет  $F_k(\varepsilon)$ , намного быстрее, чем второе. При числе переносов порядка  $10^3$ , согласно расчетам

$$\lim_{n \rightarrow 10^3} \sum_{k=0}^{n-1} F_k(\varepsilon)(1 - \varepsilon)^{2k-n} \rightarrow 0.$$

Следовательно, в данном случае с большой точностью справедливо

$$\frac{Q_B}{Q_A} = (1 - \varepsilon)^n. \quad (8)$$

Это означает, что зарядовый пакет при переносе в обратном направлении теряет такую же часть, что и исходный зарядовый пакет при переносе в прямом направлении. Таким образом, при большом числе переносов, при реальном ФПЗС, представление процесса в виде переноса вдоль удлиненной линейки оказывается правомерным. В этом случае величина неэффективности переноса может быть оценена как

$$\varepsilon = \frac{Q_1 - Q_2}{(m-1)nQ_1}, \quad (9)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — считанные величины первого и второго зарядовых пакетов соответственно,  $n$  — число переносов в одном направлении,  $m$  — число переносов второго пакета в прямом и обратном направлениях.

Для выходных регистров матричных ФПЭС типа А1042 (число переносов в одном направлении  $n = 702$ ) диапазон частот переноса заряда, при котором эффективное действие ловушек захвата отсутствует, со-

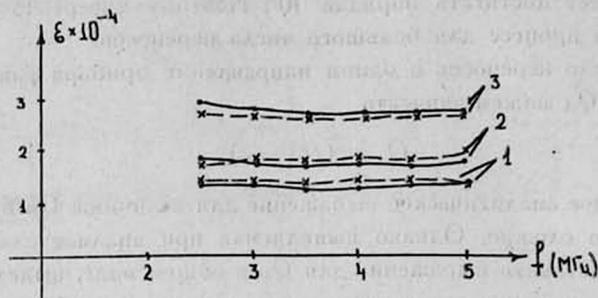


Рис. 2.

ставляет 3 ÷ 5 МГц. Экспериментальные результаты частотной зависимости неэффективности переноса, полученные нами с учетом выражения (9), при  $m = 3$ , для выходных регистров трех различных образцов указанных ФПЭС представлены на рис. 2. Для сравнения пунктиром показаны кривые, полученные при оптическом индуцировании зарядов, методом [3], для тех же образцов. Как видно из рисунка, в обоих случаях значения неэффективности переноса с достаточной точностью совпадают.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Арутюнян, Ф. В. Гаспарян. Приборы с зарядовой связью. Ереван, АН АрмССР, 1986 г.
2. Ф. П. Пресс. Формирователи видеосигналов на приборах с зарядовой связью. М., «Радио и связь», 1981 г.
3. Д. Барб, С. Кемпана. Изображающие приборы с зарядовой связью. (Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений). Под ред. Б. Кейзана. М., Мир, 1980 г., т. 3, с. 200—210.
4. А. Г. Карапетян, А. А. Карагёзов. Изв. АН АрмССР, серия ТН, 40, 20 (1989).
5. К. Секеч, М. Томпсет. Приборы с переносом заряда. М., Мир, 1978 г.

#### ԼԿՍ ՖՈՏՈՂՆԻՌՆԻՉՆԵՐՈՒՄ ԼԻՑՔԻ ՏԵՂԱՓՈՒՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԵՐԱ ՆՎԱԶՄԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Ա. ԿԱՐԱԳՅՈՋՈՎ

Ուսումնասիրված է լիցքի հակառակ տեղափոխման գործընթացը զծային ԼԿՍ-ֆոտոընդունիչներում: Ցույց է տրված, որ լիցքի կորուստների աստիճանի զնահատման համար, ուղիղ և հակառակ տեղափոխությունների մեծ քանակի դեպքում, սարքը կարելի է դիտարկել որպես երկարացված համարժեք քանոն: Բերված են փորձարարական տվյալներ:

# AN ANALYSIS OF CHARGE DEGRADATION DURING THE TRANSMISSION IN CCD PHOTODETECTORS

V. M. ARUTYUNYAN, A. A. KARAGJOZOV

The process of charge transfer in the opposite direction in linear CCD photo-detector is considered. It is shown that for the evaluation of charge degradation degree in case of large number of transfers in the straight and opposite directions one can consider the device to be an equivalent extended linear CCD. Some experimental results are given.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 25, вып. 2, 69—73 (1990)

УДК 539.219.1

## ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

З. А. КАСАМАНЯН, А. В. ПЕТРОСЯН

Ереванский политехнический институт

(Поступила в редакцию 10 мая 1989 г.)

Исследуется энергетический спектр гетероструктуры в продольном магнитном поле и поглощение света этой системой.

Показано, что вместо магнитного уровня в однородной среде в гетероструктуре возникает подзона. Это приводит к тонкой структуре циклотронного поглощения, состоящей из четырех, шести и т. д. максимумов.

Поведение электронов на границе раздела двух сред в магнитном поле, направленном вдоль плоской границы имеет интересные особенности. При движении электрона по классическим орбитам вблизи границы ему необходимо пересекать границу раздела. При этом он нередко вынужден преодолеть потенциальный барьер и оказаться в системе с другой эффективной массой. Эти особенности в наглядной классической интерпретации при квантовомеханическом рассмотрении должны оказаться на энергетическом спектре и в волновых функциях электрона, что могут проявиться в наблюдаемых эффектах, например, при поглощении света.

Здесь нами проводится расчет энергетического спектра и волновых функций (ВФ) электрона в слоистой структуре в продольном магнитном поле. На его основе исследованы особенности поглощения света системой. Естественно начинать с относительно простого случая гетероструктуры в однозонном приближении.

Магнитное поле направим по оси  $z$ , находящейся в плоскости границы раздела, и выберем векторный потенциал в виде  $\mathbf{A} = (0, xH, 0)$ . Плоскостью границы будем считать плоскостью  $x = 0$ .

Уравнение Шредингера для электронов в гетероструктуре при наличии магнитного поля (мы не учитываем здесь спинового расщепления) имеет вид