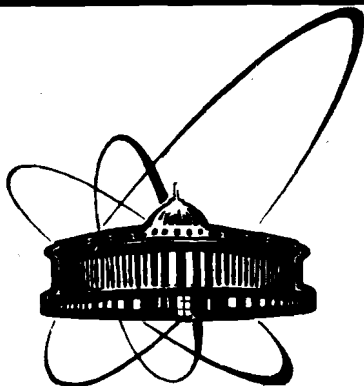


89-657



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Ц 15

8-89-657

В.Цамбел, В.И.Дацков

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМНОВОГО ТОКА
ДВУМЕРНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЭС

1989

ВВЕДЕНИЕ

Одним из недостатков работы структур ПЗС (прибор с зарядовой связью) является наличие темновых токов, которые заполняют зарядом потенциальные ячейки, расположенные под управляющими затворами. Величина темнового тока зависит от расположения ячейки структуры, что является причиной геометрического шума ПЗС. При увеличении времени интеграции при комнатной температуре до нескольких секунд значительная часть ячейки заполняется зарядом темнового тока. Это приводит к понижению динамического диапазона приемника. Увеличение времени интеграции необходимо для передачи изображения сцен с низким освещением, но при этом надо понизить темновой ток. Наиболее эффективным решением проблемы является понижение рабочей температуры структуры ПЗС.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ПЗС по принципу работы представляет собой нестационарную динамическую структуру. В первой фазе работы производится очистка от свободных зарядов в структуре ПЗС, в результате чего в полупроводнике образуются потенциальные ямы и барьеры. Очистка представляет собой последовательное тактовое переключение напряжений на электродах структуры, связанное с образованием обедненных зон. Во второй фазе оптическим или электрическим методами формируются информационные зарядовые пакеты, которые с помощью управляющих импульсов перемещаются к выходу. Если не производить переключения напряжений, то через некоторое время тепловые заряды заполняют потенциальные ямы. В структуре установилось бы термодинамическое равновесие.

Тепловой заряд (темновой ток) ограничивает зарядовую емкость или динамический диапазон структуры, а его изменение образует геометрический шум. Источниками темнового тока являются^{1/1}:

- 1) образование зарядов на границе полупроводник — окисел с плотностью тока J_s ;
- 2) образование зарядов в обедненной зоне с плотностью тока J_d ;
- 3) образование зарядов в глубине полупроводника с их последующей диффузией в обедненную зону с плотностью тока J_b .

Для структуры ПЗС с поверхностным каналом типа р плотность темнового тока J_{dark} , образованного из электронов, можно записать в виде:

$$J_{\text{dark}} = J_s + J_d + J_b \text{ или, после преобразования,}$$

$$J_{\text{dark}} = q * s * n_i^2 / (n_s + 2 * n_i) + q * n_i^2 * L_n / (N_a * \tau_n) + q * n_i * w / \tau_g, \quad (1)$$

где: q — заряд электрона, n_i — концентрация собственных носителей, равная:

$$n_i = 1/4 * (8 * \pi * m^{\#} * k * T / \hbar^2)^{3/2} * \exp(-E_g / (2 * k * T)), \quad (2)$$

$m^{\#}$ — эффективная масса электронов, k — постоянная Больцмана, \hbar — постоянная Планка, E_g — ширина запрещенной зоны полупроводника, T — температура, s — скорость поверхностной генерации носителей, n_s — поверхностная концентрация электронов, L_n — диффузионная длина электронов, N_a — плотность акцепторов, τ_n — постоянная времени жизни электронов, w — ширина обедненной зоны, τ_g — постоянная времени генерации носителей заряда, соответствующая энергии E_t захвата относительно середины запретной зоны. Если постоянная жизни дырок τ_p , то для одного центра захвата с энергией E_t можно записать следующее выражение^{1,2}:

$$\tau_g = \tau_p * \exp(E_t / (k * T)) + \tau_n * \exp(-E_t / (k * T)). \quad (3)$$

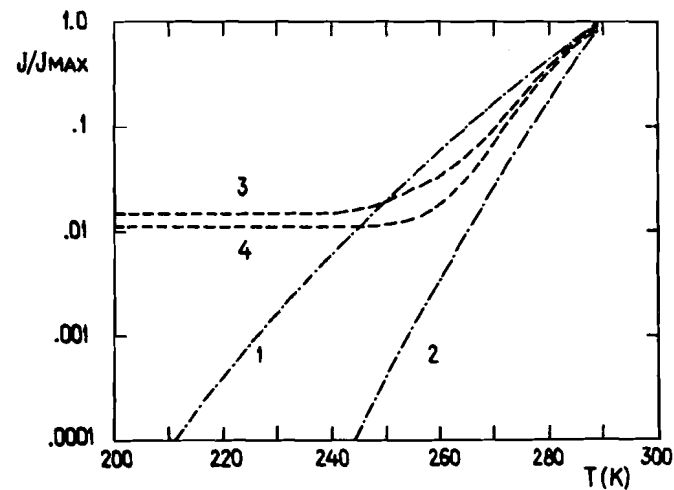


Рис.1. Зависимости темнового тока J_{dark} от температуры T . 1, 2 — расчетные; 3, 4 — измеренные.

Зависимость плотности темнового тока J_{dark} от управляющих напряжений затворов в выражении (1) связана с шириной обедненной зоны w и со скоростью поверхностной генерации s , зависящих от поверхностного потенциала. Из выражений (1)-(3) ясно, что непросто рассчитать температурную зависимость темнового тока, так как все параметры n_i , s , L_n , τ_n , τ_g , E_g , $m^{\#}$, в свою очередь, сложным образом зависят от температуры.

В то же время в выражении (2) видна доминирующая роль экспоненциальной зависимости n_i от T . Для лучшего сравнения эксперимента с расчетом на рис.1 построены в логарифмическом масштабе зависимости $n_i = f(T)$ и $n_i^2 = f(T)$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Аппаратурная часть методики измерения температурной зависимости темнового тока приемника изображения типа МАВ 1256 (Тесла, СССР) показана на рис.2.

Охлаждение ПЗС-микросхемы в интервале температур 200-290 К осуществлялось в вакуумной камере (вакуум $1 - 0,1$ Па) с помощью

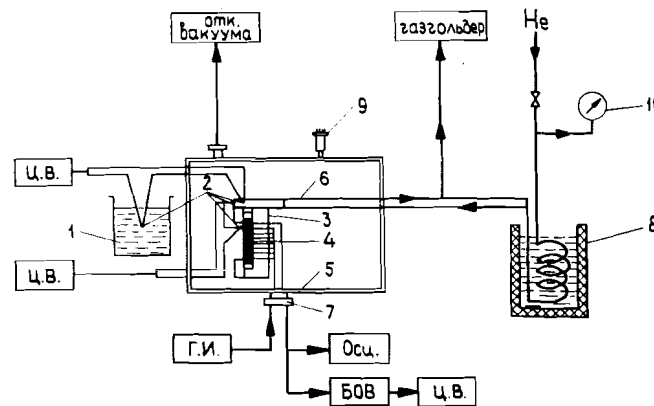


Рис.2. Блок-схема методики измерения. 1 — репер температуры 0°C (вода со льдом), 2 — спай термопар типа медь-константан, 3 — медная подложка, 4 — микросхема ПЗС типа МАВ 1256, 5 — вакуумный кожух, 6 — змеевик с охлаждающим газом, 7 — электрический герметичный разъем, 8 — дьюар с жидким азотом, 9 — вакуумная лампа типа ПМТ-4М, 10 — манометр типа МО, Ц.В. — цифровой вольтметр типа В7-34А, Г.И. — генератор импульсов, Осц. — осциллограф типа С1-114, БОВ — блок обработки видеосигнала.

охлажденного газообразного гелия, проходящего по трубчатому змеевику подложки в камере. Гелий предварительно охлаждался в трубчатом змеевике, помещенном в жидкий азот. Скорость охлаждения подложки в интервале 0,1-0,01 К/с регулировалась изменением расхода гелия при давлении до 0,15 МПа.

Цокольная панелька ПЗС-микросхемы закреплена на охлаждаемой подложке. Температура корпуса и подложки измерялась калиброванными дифференциальными термопарами медь — константан с точностью $0,1 \text{ K}^{1/3}$. Режим работы ПЗС-микросхемы был следующим:

- амплитуда импульсных напряжений — +12 В,
- напряжение коллектора выходного транзистора — +11,3 В,
- напряжение смещения микросхемы — -4В,
- напряжение выходного затвора — +7 В,
- напряжение интегр. затворов во время интеграции — +12 В,
- интеграционное время — 15 с.

В связи с тем, что время интеграции было постоянным, среднее значение плотности темного тока можно измерять с помощью напряжения с отдельных фоточувствительных элементов на выходе из структуры ПЗС. Обработка видеосигнала заключалась в усилении (в 10 раз), выборке-хранении и измерении полученного однополярного напряжения с помощью цифрового вольтметра типа В7-34А. Контроль видеосигнала осуществлялся с помощью 2-лучевого осциллографа типа С1-114.

Результаты измерения зависимости темного тока от температуры в логарифмическом масштабе показаны на рис.1, где зависимости 1, 2 — расчетные, а 3,4 — экспериментальные для двух ПЗС-микросхем. По оси ординат отложена относительная величина соотношения плотности темного тока J к его максимальной величине J_{max} при температуре 290 К. Расчетная зависимость 1 построена для выражения:

$$J/J_{\text{max}} = f[n_i(T)] = f[T^{3/2} * \exp(-E_g/(2*k*T))]. \quad (4)$$

Зависимость 2 построена для выражения:

$$J/J_{\text{max}} = f[n_i^2(T)] = f[T^3 * \exp(-E_g/(k*T))]. \quad (5)$$

На рис.1 можно выделить 2 области зависимости поведения кривых 3, 4 от температуры. В интервале температур 200-250 К плотность темного тока является неизменной. В интервале 250-290 К поведение темного тока близко к теоретическим зависимостям 1, 2. Приблизительно такое же поведение описано в литературе^{1,4} для ПЗС-микросхем с поверхностным каналом известных зарубежных фирм. Поведение кривых 3, 4 в интервале 200-250 К авторы^{1,4} объясняют отсутствием зависимости поверхностной генерации носителей заряда от температуры.

Результаты эксперимента, описанного в настоящей статье, показывают, что охлаждение ПЗС-микросхемы типа МАВ 1256 с поверхностным каналом до температуры 250 К уменьшает темновой ток приблизительно в 100 раз относительно его величины при комнатной температуре (290 К). Дальнейшее уменьшение температуры не приводит к существенному снижению темнового тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barbe D.F. — Charge Coupled Devices, Top. Appl. Phys. 38, Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
2. Schröder D.K., Guldberg J. — Solid State Electronics 14, 1971, p. 1285.
3. Справочник по физико-техническим основам криогеники. М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Jespers P.G. — Solid State Imaging, Noordhoff — Leyden, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 сентября 1989 года.