ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ВЕРТИКАЛЬНОГО АНТИБЛУМИНГА В ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ПРИБОРЕ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

© А. С. Жебель, Е. В. Костюков, А. А. Пугачёв, С. В. Соколов

АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

Для предотвращения растекания заряда по соседним ячейкам при высоком уровне освещённости ФПЗС-прибора с межстрочным переносом используется устройство вертикального антиблуминга. Оптимизация управляющих напряжений вертикального антиблуминга позволяет увеличить допустимые пересветки и повысить динамический диапазон ФПЗС. С помощью разработанной TCAD-модели фото-приёмной ПЗС-ячейки рассчитано семейство свет-сигнальных характеристик и выбрано оптимальное напряжение на стоке антиблуминга.

Ключевые слова: ФПЗС, вертикальный антиблуминг, TCAD-модель

Сведения об авторах: Жебель Александр Сергеевич, zhebel@pulsarnpp.ru; Костюков Евгений Вильевич, kostjukov@yandex.ru; Пугачёв Андрей Алексеевич, pugachev@pulsarnpp.ru; Соколов Сергей Викторович

OPTIMIZATION OF VERTICAL ANTIBLOOMING DEVICE PERFORMANCE IN PHOTSENSITIVE CHARGE-COUPLED DEVICE

A. S. Zhebel, E. V. Kostyukov, A. A. Pugachev, S. V. Sokolov

JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okrzhnoy proezd, 27

Vertical antiblooming device is required to prevent the charge propagation in the neighboring cells of interline transfer photosensitive CCD at a high level of light exposure. Optimization of vertical antiblooming control voltage allows increasing overexposure limits and CCD dynamic range. With the developed TCAD model of CCD-photodetector cell, the series of light-transfer characteristics was calculated and the optimal voltage at the antiblooming device drain was chosen.

Keywords: photosensitive CCD, vertical antiblooming, TCAD-model

Data of authors: Zhebel Aleksandr Sergeevich, zhebel@pulsarnpp.ru; Kostyukov Evgeniy Vilyevich, kostjukov@yandex.ru; Pugachev Andrey Alekseevich, pugachev@pulsarnpp.ru; Sokolov Sergey Viktorovich

Введение

Устройство антиблуминга в фотоприёмной ячейке ФПЗС-матрицы с межстрочным переносом предотвращает растекание заряда по соседним ячейкам при высоком уровне освещённости прибора, отводя в подложку избыточный фотогенерированный заряд, тем самым исключая так называемый блуминг. На рис. 1а показано изображение светового пятна, получаемое с помощью разработанной ФПЗС-матрицы при уровне освещённости, значительно превышающем предель-

ный и дающем растекание этого пятна, то есть блуминг. На рис. 1б показан результат устранения этого явления путём включения устройства антиблуминга.

Устранение эффекта блуминга позволяет расширить динамический диапазон ФПЗС, а также качественно улучшить изображение при высоких уровнях освещённости прибора. Это делает ФПЗС с устройством антиблуминга востребованными в системах видеонаблюдения и детектирования, рабо-

Рис. 1

Пример работы устройства антиблуминга: а) растекание (блуминг); б) блуминг устранён

тающих в сложных условиях освещения. Структура ФПЗС-ячейки с вертикальным антиблумингом (ВАБ), представленная на рис. 2, формируется путём создания профилированного p -кармана, обеспечивающего работу антиблуминга за счёт смыкания диффузионных областей p -типа [1].

На рис. 2 обозначены: 1 — n -подложка, 2 — профилированный p -карман, 3 — n -вертикальный регистр, 4 — n -область фотодиода, 5 — p^{++} -область фотодиода, 6 — p -стоп-каналы, 7 — диэлектрик, 8 — разрешающий затвор, 9 — направление потока избыточных электронов из фотодиода в подложку, W_{P3} — ширина области разрешающего затвора, W_{AB} — ширина области стока антиблуминга. Толщина подложки (1) составляет порядка 400-600 мкм, толщина области p -кармана (2) — 3-6 мкм. Сток избыточного заряда происходит «вертикально» (9) из области ФД (4) через узкую часть области p -кармана (2) в подложку (1).

Рис. 2

Структура ПЗС-ячейки
с вертикальным антиблумингом

Методики моделирования

Задачи проектирования ПЗС-ячейки с вертикальным антиблумингом решаются с помощью средств комплекса приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD (Synopsys). Оптимизация фотоприёмной ячейки с ВАБ проводится на основе результатов моделирования её свет-сигнальных характеристик (ССХ). Разработаны методики моделирования и исследования процессов протекания потоков фотогенерированных электронов в режимах: накопление в фотодиоде (ФД); накопление в ФД с режимом стока в антиблуминг; параллельный перенос из ФД в регистр; электронный затвор [2]. Результаты моделирования данных процессов позволяют исследовать и определить основные электрические характеристики ячейки и все возможные варианты возникновения блуминга изображения. На основе построения свет-сигнальных характеристик могут быть рассчитаны следующие характеристики и параметры ПЗС с ВАБ:

- зарядовые ёмкости фотодиода и ячейки вертикального регистра;
- кратность (эффективность) антиблуминга КАБ;
- динамический диапазон;
- оптимальные управляющие напряжения для всех режимов.

Выбор оптимального напряжения стока антиблуминга

Одним из ключевых управляющих напряжений, определяющих правильность функционирования фотоприёмной ячейки и величину её динамического диапазона, является напряжение на стоке антиблуминга в режиме накопления. Чтобы исключить явление блуминга, а именно растекание зарядового пакета, принятого ячейкой регистра из фотодиода, необходимо согласовать зарядовые ёмкости фотодиода и регистра. Это обеспечивается подбором

(оптимизацией) напряжения на стоке антиблуминга (СА) в режиме накопления и параллельного переноса.

Для решения этой задачи проведено моделирование фотоприёмной ячейки в режиме накопления при различных напряжениях на СА и построены семейства свет-сигнальных характеристик, зависимости накопленного в ячейке фотодиода заряда от мощности светового потока. Один из вариантов семейства ССХ представлен на рис. 3. Время расчёта одной точки ССХ составляет порядка 15-30 минут.

Напряжение стока АБ считается оптимальным, если одновременно выполняются следующие условия:

- освещённость имеет максимально высокое значение, не вызывающее блуминга при выбранном напряжении стока АБ;
- зарядовый пакет, накапливаемый фотодиодом, полностью переносится в ячейку регистра;
- величина зарядового пакета, накопленного фотодиодом, равна зарядовой ёмкости ячейки вертикального регистра;
- линейный динамический диапазон ячейки составляет не менее 60 дБ.

Из построенных характеристик видно, что при напряжении на СА +8 В и при высоком уровне освещённости в фотодиоде накапливается зарядовый пакет, намного превышающий зарядовую ёмкость ячейки сдвигового регистра, который после переноса из фотодиода переполнит ячейку регистра, что приведёт к растеканию избыточного

заряда по вертикальному регистру и образованию смаза изображения. На рис. 4 даны распределения электронов в фотоприёмной ячейке рис. 2 для различных значений напряжения на стоке антиблуминга после окончания стадии переноса заряда из фотодиода в ячейку вертикального регистра при одинаковых временах накопления и освещённостях ячейки. Как видно из рис. 4а, при малом напряжении на стоке антиблуминга (+8 В) заряд, оставшийся в ячейке регистра, очень велик и выходит на границу раздела окисел-кремний, что недопустимо, и часть накопленного заряда осталась в фотодиоде.

Величина напряжения СА +12 В является оптимальной, так как при этом напряжении величина зарядового пакета, накопленного фотодиодом, наиболее близка к величине зарядовой ёмкости ячейки сдвигового регистра, но не превышает её (рис. 3 и рис. 4б), при этом зарядовый пакет из ФД будет полностью передан в ячейку сдвигового регистра при параллельном переносе. При таком соотношении зарядовых ёмкостей фотодиода и регистра будет достигаться максимальный динамический диапазон ячейки.

При подаче на СА напряжения +14 В большая часть заряда, сгенерированного в области фотодиода при накоплении, уходит в подложку, и накопленный заряд в фотодиоде становится много меньше зарядовой ёмкости сдвигового регистра (рис. 3 и рис. 4в), в результате чего снижается величина динамического диапазона ФПЗС матрицы.

Рис. 3

Свет-сигнальная характеристика ПЗС-ячейки с вертикальным антиблумингом для напряжений на стоке антиблуминга: +8 В, +12 В, +14 В, +16 В. Время накопления 40 мс

Рис. 4

Распределение концентрации электронов в ячейке после окончания параллельного переноса заряда из ячейки фотодиода в ячейку сдвигового регистра; напряжение на стоке антиблуминга: а) +8 В, б) +12 В, в) +14 В

Рис. 5

**Работа фотоприёмного устройства на базе ФПЗС с вертикальным антиблумингом
при различных уровнях напряжения на стоке антиблуминга;
напряжение на стоке антиблуминга: а) +8 В, б) +12 В, в) +16 В**

Работа фотоприёмного устройства на базе ФПЗС с вертикальным антиблумингом при различных напряжениях на СА представлена на рис. 5.

На изображении рис. 5а виден блуминг, появившийся из-за наличия избыточного заряда при напряжении на СА +8 В. На рис. 5в изображение получилось затемнённым из-за снижения динамического диапазона при напряжении на СА +16 В. Изображение на рис. 5б получено при расчётном напряжении на СА +12 В и является оптимальным для данного фоточувствительного ПЗС.

Заключение

С помощью моделирования подобрано оптимальное управляющее напряжение вертикального антиблуминга, обеспечивающее его работу при высоких уровнях освещённости при величине линейного динамического диапазона не менее 60 дБ. Методика моделирования фотоприёмной ячейки с вертикальным антиблумингом была отработана

на и проверена на практике, и применяется при проектировании последующих версий матричных ФПЗС с межстрочным переносом.

Литература

1. M. J. H. Van De Steeg, H. L. Peek at al. A Frame-Transfer Color CCD-Imager with Vertical Antiblooming // IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-32, No. 8, August 1985, pp. 1430-1438.
2. Пугачёв А. А., Кушнир А. А., Маклакова О. М. TCAD-моделирование элементов фоточувствительных ПЗС СБИС // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем — 2008. Сборник научных трудов / под общ. ред. А. Л. Сتمпковского. — М.: ИППМ РАН, 2008. — С. 189-194.
3. Пугачёв А. А., Тубаев А. А. Двумерные модели структур фотоприёмных ячеек с устройством антиблуминга // Твердотельная электроника.

Сложные функциональные блоки РЭА: материалы научно-технической конференции. — М.: МНТОРЭС им. А. С. Попова, 2010. — С. 141-142.

References

1. M. J. H. Van De Steeg, H. L. Peek et al. A Frame-Transfer Color CCD-Imager with Vertical Antiblooming // IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-32, No. 8, August 1985, pp. 1430-1438.
2. Pugachev A. A., Kushnir A. A., Maklakova O. M. TCAD-modeling of photosensitive CCD VLSI. *Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem* — 2008. *Sbornik nauchnykh trudov* [Issues of development of advanced micro- and nanoelectronic systems — 2008. Collection of scientific papers]. Edited by A. L. Stempkovskiy. Moscow, IPPM RAS Publ, 2008, pp. 189-194.
3. Pugachev A. A., Tubaev A. A. 2D models of photodetector cell arrays with antiblooming device. *Tverdotelnaya elektronika. Slozhnye funktsionalnye bloki REA: materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Solid-state electronics. Complex functional blocks of radioelectronic equipment: proceedings of scientific and technical Conference]. Moscow, MNTORES, named after A. S. Popov, 2010, pp. 141-142.