

УДК 621.382

## Интегральные схемы мультиплексоров современных матричных фотоприемных устройств

А. И. Еремчук, С. С. Хромов, А. А. Зайцев

*Отмечена тенденция к увеличению форматов и уменьшению размеров пикселей матричных фотоприемных устройств (ФПУ). Проведена оценка необходимых технологических норм, размеров кристалла и ожидаемого выхода годных интегральных схем (ИС) мультиплексоров для различных форматов и типов ФПУ. Показаны необходимость и пути технологической модернизации изготовления ИС мультиплексоров и проведена оценка необходимых финансовых затрат.*

PACS: 85.60 Gz

*Ключевые слова:* фотоприемное устройство, мультиплексор, схема, технология, интегральная схема.

### Введение

Технический уровень и темпы развития изделий твердотельной микрофотоэлектроники в значительной степени определяются возможностями научно-технологической базы их разработки и производства. Оценка современного состояния и тенденций ее развития позволяют определить приоритеты финансирования конкретных направлений, которые могли бы привести к реальным результатам за короткое время.

Оценку технического уровня ФПУ принято проводить, пользуясь понятием "поколение". В настоящее время промышленно освоено второе поколение инфракрасных ФПУ и активно развивается третье. Ко второму поколению обычно относят матричные ФПУ с количеством пикселей до 1 млн. ФПУ третьего поколения характеризуются большим количеством пикселей и/или расширенной функциональностью: многоцветностью, лучшим температурным разрешением, наличием аналого-цифрового преобразования на кристалле мультиплексора [1].

Основные тенденции развития инфракрасных ФПУ на ближайшее время:

- повышение количества элементов более  $10^6$ ;
- повышение чувствительности пикселя;
- уменьшение стоимости;
- увеличение функциональности мультиплексора за счет переноса на него функций обработки сигнала.

### Оценка технико-экономических показателей развития научно-технологической базы производства матричных мультиплексоров

Матричный мультиплексор (ММ), являясь неотъемлемой частью инфракрасного ФПУ, представляет собой аналого-цифровую ИС, по степени интеграции близкую к микропроцессорам и использующую субмикронную технологию. Увеличение числа пикселей ФПУ, примерно, соответствует закону Мура, т. е. их количество удваивается примерно через 19 мес [2]. Следовательно, количество транзисторов ИС ММ также подчиняется экспоненциальному закону. На рисунке приведено сравнение количества транзисторов и топологических норм ИС микропроцессора и ММ в зависимости от года изготовления.

Несмотря на отставание уровня технологии ММ, примерно на 7—10 лет, задача их производства относится к области экстремума возможностей современной технологии. В основном это обусловлено особенностями МОП-транзисторов аналоговой части ИС. По мере уменьшения геометрических размеров транзисторов их характеристики существенно ухудшаются. К ним относятся: дифференциальное сопротивление стока, передаточная проводимость, скорость старения из-за горячих электронов, технологический разброс характеристик, отношение сигнала к шуму и динамический диапазон [3].

Основной проблемой аналоговых транзисторов является деградация параметров, вызванная горячими электронами. Одним из методов ее решения является ионная имплантация под большим углом наклона ионного пучка, позволяющая уменьшить напряженность электрического поля в канале возле стока. Требование малого разброса параметров транзисторов на кристалле является второй особенностью аналоговых схем. Уменьшение разбро-

**Еремчук Анатолий Иванович**, главный технолог — начальник производства.

**Хромов Сергей Сергеевич**, начальник дизайн-центра.

**Зайцев Алексей Андреевич**, ведущий инженер-электронщик. ФГУП «НПО "Орион"».

Россия, 111123, Москва, ш. Энтузиастов, 46/2.

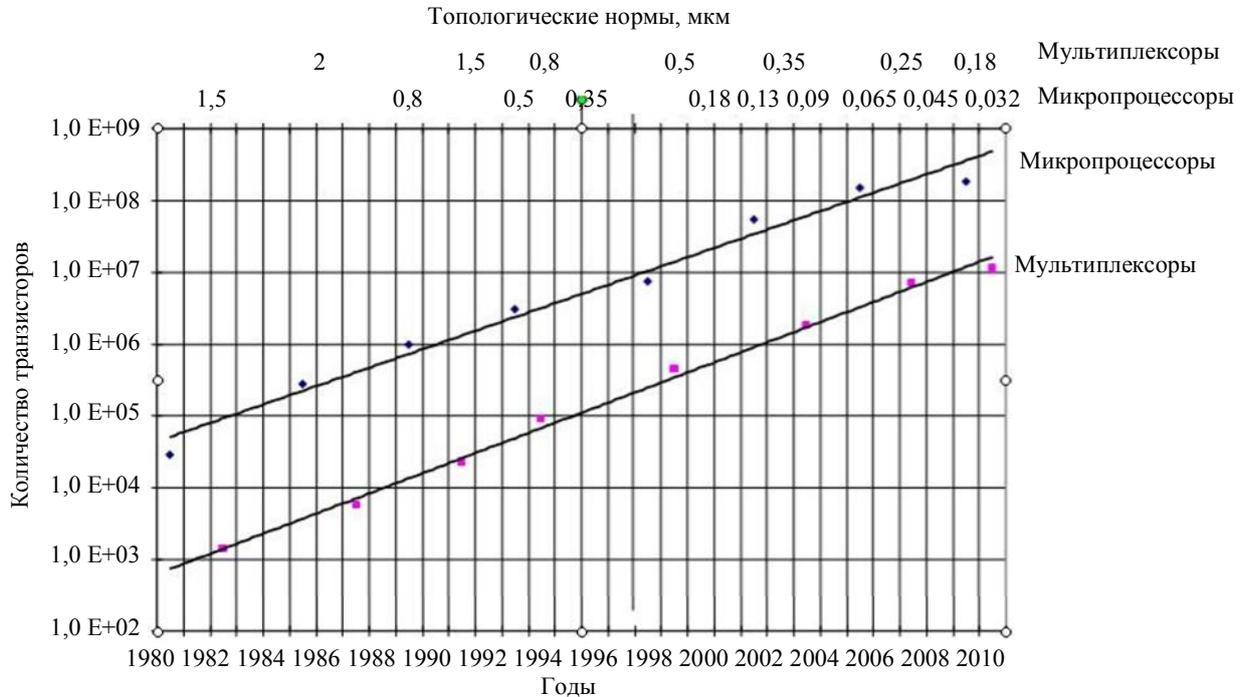
Тел.: (499) 374-92-80, 374-49-38. E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 22 сентября 2010 г.

са параметров обычно обеспечивают использованием транзисторов большего размера по сравнению с минимальными, что, однако, препятствует уменьшению размеров ячейки считывания ММ. Используют также технологический прием — крутое ретроградное распределение примеси.

вует и ряд других технологических приемов, обеспечивающих улучшение параметров элементов ИС [4].

Для оценки уровня технологии, необходимой для производства ММ требуемого формата и размера пикселя, были рассмотрены два типа ММ:



*Сравнение количества транзисторов и топологических норм ИС микропроцессора и матричного мультиплексора в зависимости от года изготовления*

Еще одной проблемой является обеспечение малого порогового напряжения аналоговых транзисторов, необходимое для расширения динамического диапазона, в то время как для цифровых транзисторов он должен быть большим для снижения потребления. Решением этой проблемы является усложнение техпроцесса, которое позволяет делать МОП-транзисторы с разными пороговыми напряжениями на одном кристалле. Сущест-

1. Мультиплексор для ФПУ средневолнового диапазона на основе антимонида индия с типовой полнофункциональной ячейкой считывания [5].

2. Мультиплексор для приборов ночного видения на основе тройных соединений с упрощенной ячейкой трансимпедансного усилителя [6].

Результаты оценки технологических норм и размера кристалла ИС приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Мультиплексор для ФПУ средневолнового диапазона**

Размер ячейки, мкм	Топологическая норма, мкм	Размер кристалла (мм) для форматов		
		320×256	640×512	1280×1024
35×35	0,8	13,5×13,5	25×22	47×40
30×30	0,6	11,5×11,5	21×19	40×35
25×25	0,5	9,6×9,7	17,5×16	34×29
20×20	0,35	7,8×8	14×13	27×23
15×15	0,25	5,9×6,2	10,5×10	21×18
10×10	0,18	4×4,5	7,2×7	13,5×12

Таблица 2

**Мультиплексор для приборов ночного видения**

Размер ячейки, мкм	Топологическая норма, мкм	Размер кристалла (мм) для форматов		
		320×256	640×512	1280×1024
30×30	1,0	11,6×10,5	21×19	40×36
25×25	0,8	9,8×8,3	18×14,5	34×28
20×20	0,6	8,1×6,9	14,5×12	28×22
15×15	0,5	6,3×5,5	1×9,5	21×17
10×10	0,35	4,5×4,2	7,7×6,8	14×12
5×5	0,18	2,8×2,9	4,4×4,2	7,6×6,8

Из приведенных результатов видно, что при увеличении формата мультиплексора для сохранения приемлемого размера кристалла необходимо, примерно, во столько же раз уменьшать размер ячейки считывания. Это возможно только при соответствующем уменьшении топологических норм, что влечет за собой модернизацию (смену поколения) технологической линейки.

В соответствии с эмпирическим законом Мура при смене технологических поколений ИС происходят экспоненциальные изменения характеристик кристалла: увеличивается количество элементов, уменьшаются топологические нормы, уменьшается плотность дефектов, растет количество технологических операций [7]. При этом появляются новые технологические процессы и структурные

элементы компонентов ИС, ужесточаются требования к технологическим операциям, электронной гигиене и используемым материалам [8]. Это влечет за собой увеличение расходов на приобретение оборудования и эксплуатацию линейки, которые также подчиняются экспоненциальному закону [7].

Общие характеристики технологических поколений приведены в табл. 3.

Используя данные табл. 3, были проведены оценки выхода годных мультиплексоров, приведенных в табл. 1 и 2. Расчет выхода годных проводился по формуле Мерфи  $Y = \{[1 - \exp(-AD)] / (AD)\}^2$ , где  $A$  — площадь кристалла,  $D$  — плотность дефектов [8]. Результаты расчетов приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 3

**Общие характеристики технологических поколений ИС**

Технология	Дефектность, см <sup>-2</sup>	Число		Новые структурно-технологические особенности	Стоимость оборудования, млн дол.
		фотошаблонов	технологических операций		
1,4—2,0 мкм, 1—2 металла	2—5	8—10	40—70	Локальное окисление. Сухое травление Спейсеры. Фотолитография с источником Hg 435 нм	7—10
0,7—1,0 мкм, 2 металла	0,7—1,5	10—11	90—110	Самосовмещенные карманы. Планаризация плазмохимической полировкой. Фотолитография с источником Hg 404 нм	16—20
0,5—0,6 мкм, 3—4 металла	0,4—0,6	12—14	120—130	Ионное легирование под большими углами. Планаризация химико-механической полировкой. Фотолитография с источником Hg 365 нм	30—40
0,25—0,35 мкм, 4—5 металлов	0,2—0,3	15—17	140—150	Траншейная изоляция. Ретроградные карманы. Самосовмещенный силицидный контактный слой. Фотолитография с источником Kг 248 нм	80—100
0,13—0,18 мкм, 6 металлов	0,05—0,1	18—20	160—170	Подзатворный диэлектрик с $\epsilon > 3,9$ . Межслойный диэлектрик с $\epsilon < 2,7$ . Дамасская металлизация. Фотолитография с источником Ag 193 нм	200—300

Таблица 4

**Прогнозируемый выход годных кристаллов БИС мультиплексоров для ФПУ средневолнового диапазона**

Размер ячейки, мкм	Технологическая норма, мкм	Выход годных, %		
		320×256	640×512	1280×1024
35×35	0,8	12—32	—	—
30×30	0,6	48—54	—	—
25×25	0,5	59—64	23—29	—
20×20	0,35	83—88	59—70	—
15×15	0,25	—	74—81	—
10×10	0,18	—	95—96	85—92

Таблица 5

Прогнозируемый выход годных кристаллов БИС мультиплексоров для приборов ночного видения

Размер ячейки, мкм	Топологическая норма, мкм	Выход годных, %		
		320×256	640×512	1280×1024
30×30	1,0	21—45	—	—
25×25	0,8	34—58	6—21	—
20×20	0,6	72—76	39—45	—
15×15	0,5	—	55—61	—
10×10	0,35	—	86—90	62—72
5×5	0,18	—	—	95—97

Приведенные результаты показывают, что с уменьшением размера ячейки растет выход годных, что обусловлено как уменьшением размера кристалла, так и использованием более совершенной технологии.

### Заключение

Тенденция к увеличению форматов и уменьшению размеров пикселей инфракрасных матричных ФПУ ведет к уменьшению технологических норм ИС ММ, что соответствует развитию всей компонентной базы современной микроэлектроники. Это влечет за собой постоянную модернизацию научно-технологической базы разработки и производства изделий микрофотоэлектроники, что, в конечном счете, позволяет оперативно реагировать на требования рынка ФПУ второго и третьего поколений. Однако для технологической реализации более совершенных ИС ММ, предназначенных для применения в матричных ФПУ новых поколений, необходимо использовать более дорогостоящие технологии, затраты на которые долж-

ны окупаться за счет более высокого выхода годных.

### Литература

1. Rogalski A. Third Generation Infrared Detectors// Proceedings of the Symposium on Photonics Technologies for 7th Framework Program, Wroclaw. 12—14 October 2006.
2. Rogalski A. Infrared Detectors for the Future// Acta Physica Polonica A. 2009. No. 3.
3. Денисенко В. В. Особенности субмикронных МОП-транзисторов// Chip News. 2002. No. 7.
4. Wolf S. Silicon Processing for the VLSI Era. V. 4 — Deep-Submicron Process Technology. — Sunset Beach CA: Lattice Press, 2002.
5. ISC9803 Specification — FLIR Systems Inc., www.corebyindigo.com
6. Зайцев А. А., Хромов С. С., Кузнецов П. А. Проектирование мультиплексора формата 320×256 для приборов ночного видения на основе тройных соединений// Тезисы XXI МНТК по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Москва. 25—28 мая 2010.
7. Scotten W. Jones. Exponential Trends in the Integrated Circuit Industry — IC Knowledge LLC, 2008.
8. Scotten W. Jones. An Overview of Semiconductor Technology — IC Knowledge LLC. April 25, 2008.

## Progress of the ROIC technology for a modern FPA

A. I. Eremchuk, S. S. Khromov, A. A. Zaytsev

Orion R&P Association, 46/2 Entuziastov road, Moscow, 111123, Russia

E-mail: orion@orion-ir.ru

*The FPA resolution increase and pixel size minimization has been admitted. The estimation of required design rules, die size and expected yield ratio of the ROIC for different resolution has been given. The necessity and ways of fabrication technology improvement with corresponding costs has been shown.*

PACS: 85.60 Gz

*Keywords:* FPA, multiplexer, scheme, technology, integrated circuit.

Bibliography — 8 references.

Received September 22, 2010