

Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть IV. Процессоры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Внимание читателей предлагается четвертая часть обзора систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ) или *High-Performance Computing (HPC)*. Все предыдущие публикации, включая первую [1], вторую [2] и третью [3] части текущего обзора, свободно доступны на нашем сайте www.cad-cam-cae.ru. В отличие от предыдущих лет, когда рынку процессоров посвящалась третья часть [4] (а до этого – вторая [5÷7]), теперь этот материал собран в четвертой части.

Отметим, что при отборе информации мы, как обычно, опираемся на сформулированный ранее подход: в потоке сообщений, исходящих от маркетинговых служб ведущих производителей процессоров, стараемся разглядеть те значимые события, которые действительно являются вехами в хронологии развития технологий, “спрессованной” в диаграммах [7, рис. 29, табл. 6] и [8, рис. 4].

Информация, собранная за прошедший 2016-й и всё еще текущий 2017 год, распределена по следующим разделам:

- 1 Состояние мировой полупроводниковой промышленности;
- 2 Инвестиции в приобретение компаний;
- 3 Инвестиции в разработку и освоение новых технологий;
- 4 Освоение передовых технологических норм производства микросхем;
- 5 Новейшие процессоры и их разработчики;
- 6 Крупнейшие потребители полупроводниковых изделий.

В обзоре мы будем опираться на препарированные и дополненные нами данные, регулярно публикуемые следующими компаниями, которые занимаются систематическими исследованиями рынка полупроводниковых изделий:

- **Gartner** (www.gartner.com) со штаб-квартирой в гор. Стамфорд (шт. Коннектикут, США);
- **IC Insights** (www.icinsights.com) со штаб-квартирой в гор. Скоттсдейл (шт. Аризона, США);

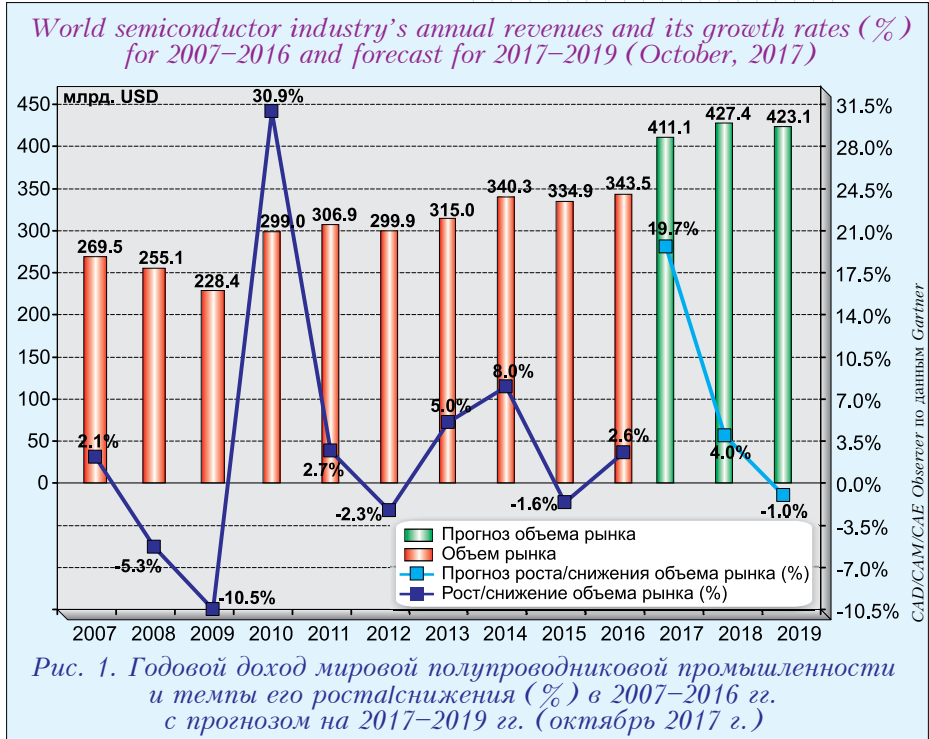


Рис. 1. Годовой доход мировой полупроводниковой промышленности и темпы его роста/снижения (%) в 2007–2016 гг. с прогнозом на 2017–2019 гг. (октябрь 2017 г.)

• **IHS Markit** (ihsmarkit.com) со штаб-квартирой в гор. Лондон (Великобритания).

Уже в который раз обращаем внимание читателей, что расхождения данных по одним и тем же позициям отнюдь не принижают качественный уровень предлагаемой этими компаниями аналитики и, скорее всего, объясняются особенностями применяемых методик. Не лишним также будет напомнить, что в практике аналитических компаний имеет место постоянное уточнение предыдущих статистических данных. Чтобы в этом убедиться, достаточно сравнить таблицы за различные годы (см. предыдущие отчеты) или даже за различные месяцы в течение одного года (см. текущий обзор). Поэтому для тех данных, которые используются нами при составлении таблиц, как правило, указывается также дата публикации первоисточника.

Состояние мировой полупроводниковой промышленности

Первым делом, по традиции, рассмотрим состояние дел в мировой полупроводниковой промышленности.

✓ Объем рынка полупроводниковой промышленности

По оценкам аналитической компании *Gartner*, объем рынка полупроводниковых изделий в 2016 году составил 343.5 млрд. долларов (рис. 1, табл. 1), что означает прирост на +2.6% в сравнении с 2015 годом (334.9 млрд. долларов), когда объем рынка уменьшился: -1.6% в сравнении с показателями 2014 года (340.3 млрд.). Напомним, что до этого тенденция была другой. Так, в 2014 году увеличение объема составило +8% в сравнении с показателями 2013 года (315 млрд.); в 2013 году объем рынка увеличился на +5% в сравнении с показателями 2012 года (299.9 млрд.). Уменьшение объема рынка, как и в 2015 году, имело место в уже далеком 2012-м – тогда оно составило -2.3% в сравнении с состоянием на 2011 год (306.9 млрд. долларов).

По оценкам аналитической компании *Gartner*, в 2016 году мировой объем выпуска полупроводниковых приборов в стоимостном выражении вырос до 343.5 млрд. долларов. Прирост составил +2.6% в сравнении с 334.9 млрд. долларов в 2015 году.

Прогноз компании *Gartner* на 2017 год несколько раз повышался и, наконец, в октябре 2017 года остановился на ожидаемом показателе прироста объема выпуска полупроводниковых приборов в размере +19.7% или, в денежном выражении, до 411.1 млрд. долларов. Таким образом, полупроводниковая промышленность впервые выйдет за 400-миллиардный годовой рубеж.

Столь бурный прирост аналитики из *Gartner* связывают с ростом цен на микросхемы памяти. В дальнейшем прогнозируется менее радостная картина: в 2018 году скромный рост на +4% (до 427.4 млрд. долларов), а в 2019 году – и вовсе снижение объема рынка на -1% (до 423.1 млрд.).

Еще раз обращаем внимание, что с момента публикации в феврале 2017 года данных о крупнейших потребителях (табл. 6) “показания” *Gartner* об успехах полупроводниковой промышленности в 2016 году не раз менялись. Очередной раз они уточнились при публикации в мае 2017 года данных о крупнейших производителях полупроводниковых изделий (табл. 1).

По оценкам другой аналитической компании, *IC Insights*, объем рынка полупроводниковых изделий в 2016 году составил 365.6 млрд. долларов (табл. 2). Согласно прогнозу специалистов из *IC Insights*, в 2017 году ожидается суммарная выручка в размере 438.5 млрд. долларов, то есть рост на +19.9%.

Если сравнить данные обеих компаний, то для 2016 года оценки объема рынка у аналитиков из *IC Insights* окажутся на 22.2 млрд. долларов (или на 6.5%) выше, чем у аналитиков из *Gartner*. Прогноз *IC Insights* на 2017 год тоже выглядит оптимистичнее: объем рынка на 27.4 млрд. долларов (или на 6.7%) больше, чем ожидает компания *Gartner*.

Аналитические компании *Gartner* и *IC Insights* прогнозируют, что в 2017 году мировой объем выпуска полупроводниковых приборов в стоимостном выражении впервые превысит отметку в 400 млрд. долларов.

Таблица 1. Крупнейшие производители полупроводниковых изделий в 2015–2016 гг.

Компания	Страна	2015 г.			2016 г.			2016 г. в сравнении с 2015 г., %
		Доход, млрд. USD	Доля, %	Место в рейтинге	Доход, млрд. USD	Доля, (%)	Место в рейтинге	
<i>Intel</i>	США	51.690	15.4%	1	54.091	15.7%	1	+4.6%
<i>Samsung Electronics</i>	Корея	37.852	11.3%	2	40.104	11.7%	2	+5.9%
<i>Qualcomm*</i>	США	16.079	4.8%	4	15.415	4.5%	3	-4.1%
<i>SK Hynix</i>	Корея	16.374	4.9%	3	14.700	4.3%	4	-10.2%
<i>Broadcom*</i>	Сингапур	4.543	1.4%	17	13.223	3.8%	5	+191.1%
<i>Micron Technology</i>	США	13.816	4.1%	5	12.950	3.8%	6	-6.3%
<i>Texas Instruments (TI)</i>	США	11.635	3.5%	6	11.901	3.5%	7	+2.3%
<i>Toshiba</i>	Япония	9.162	2.7%	7	9.918	2.9%	8	+8.3%
<i>NXP Semiconductors (NXP)</i>	Нидерланды	6.517	1.9%	12	9.306	2.7%	9	+42.8%
<i>MediaTek*</i>	Тайвань	6.704	2.0%	10	8.725	2.5%	10	+30.1%
Топ 10		174.372	52.1%		190.333	55.4%		+9.2%
Прочие компании		160.562	47.9%		153.181	44.6%		-4.6%
Доход полупроводниковой промышленности		334.934	100%		343.51	100%		+2.6%

Примечание: 1. Таблица составлена на основании данных компании *Gartner* (май 2017 г.)
2. * компания не располагает собственными производственными мощностями (fabs)

Табл. 2. Крупнейшие производители полупроводниковых изделий в 1993, 2000, 2006 и 2016 гг., а также прогноз на 2017 г.

Место в рейтинге	1993 г.			2000 г.			2006 г.			2016 г.			2017 г.**		
	Компания	Доход, млрд. USD	Доля, %	Компания	Доход, млрд. USD	Доля, %	Компания	Доход, млрд. USD	Доля, %	Компания	Доход, млрд. USD	Доля, %	Компания	Доход, млрд. USD	Доля, %
1	Intel	7.6	7.0%	Intel	29.7	13.6%	Intel	31.6	11.9%	Intel	57.0	15.6%	Samsung	65.6	15.0%
2	NEC	7.1	6.5%	Toshiba	11.0	5.0%	Samsung	19.7	7.4%	Samsung	44.3	12.1%	Intel	61.0	13.9%
3	Toshiba	6.3	5.8%	NEC	10.9	5.0%	TI	13.7	5.2%	Qualcomm*	15.4	4.2%	SK Hynix	26.2	6.0%
4	Motorola	5.8	5.3%	Samsung	10.6	4.8%	Toshiba	10.0	3.8%	Broadcom*	15.2	4.2%	Micron	23.4	5.3%
5	Hitachi	5.2	4.8%	TI	9.6	4.4%	ST	9.9	3.7%	SK Hynix	14.9	4.1%	Broadcom*	17.6	4.0%
6	TI	4.0	3.7%	Motorola	7.9	3.6%	Renesas	8.2	3.1%	Micron	13.5	3.7%	Qualcomm*	17.1	3.9%
7	Samsung	3.1	2.8%	ST	7.9	3.6%	Hynix	7.4	2.8%	TI	12.5	3.4%	TI	13.9	3.2%
8	Mitsubishi	3.0	2.8%	Hitachi	7.4	3.4%	Freescall	6.1	2.3%	Toshiba	10.9	3.0%	Toshiba	13.5	3.1%
9	Fujitsu	2.9	2.7%	Infineon	6.8	3.1%	NXP	5.9	2.2%	NXP	9.5	2.6%	NVIDIA*	9.2	2.1%
10	Matsushita	2.3	2.1%	Philips	6.3	2.9%	NEC	5.7	2.1%	MediaTek*	8.8	2.4%	NXP	9.2	2.1%
Топ-10		47.3	43.5%	108.1		49.5%	118.2		44.5%	202.0		55.3%	256.7		58.5%
Прочие компании		61.5	56.5%	110.5		50.5%	147.3		55.5%	163.6		44.7%	181.8		41.5%
Доход мировой полупроводниковой промышленности		108.8	100.0%	218.6		100.0%	265.5		100.0%	365.6		100.0%	438.5		100.0%

Примечание: 1. Таблица составлена с использованием данных (май 2017 г.) и прогноза** (ноябрь 2017 г.) компании IC Insights.
2. * компания не располагает собственными производственными мощностями (fabless)

✓ Структура рынка интегральных схем

В декабре 2017 года аналитическая компания *IC Insights* опубликовала прогноз объема и структуры рынка интегральных схем для завершающегося 2017 года (рис. 2) и проанализировала предполагаемые изменения структуры рынка к 2021 году (рис. 3). Динамика изменений объема сегментов рынка (рис. 4) в период с 2017 по 2021 гг. приведена в сложных процентах (*Compound Annual Growth Rate, CAGR*). Рыночные сегменты на диаграммах (рис. 2-4) отранжированы в соответствии со значением сложного процента.

Если сравнить данные из табл. 2 и рис. 2, то получится следующее. По версии *IC Insights*, в 2017 году сегмент интегральных схем в денежном выражении (373.8 млрд.) составит 85.2% от всего объема рынка полупроводниковых изделий (438.5 млрд. долларов).

В трио сегментов с самыми быстрыми темпами роста в 2017–2021 гг. входят:

- автомобильная электроника (+13.4%);
- интернет вещей (+13.2%);
- медицинская электроника (+9.7%).

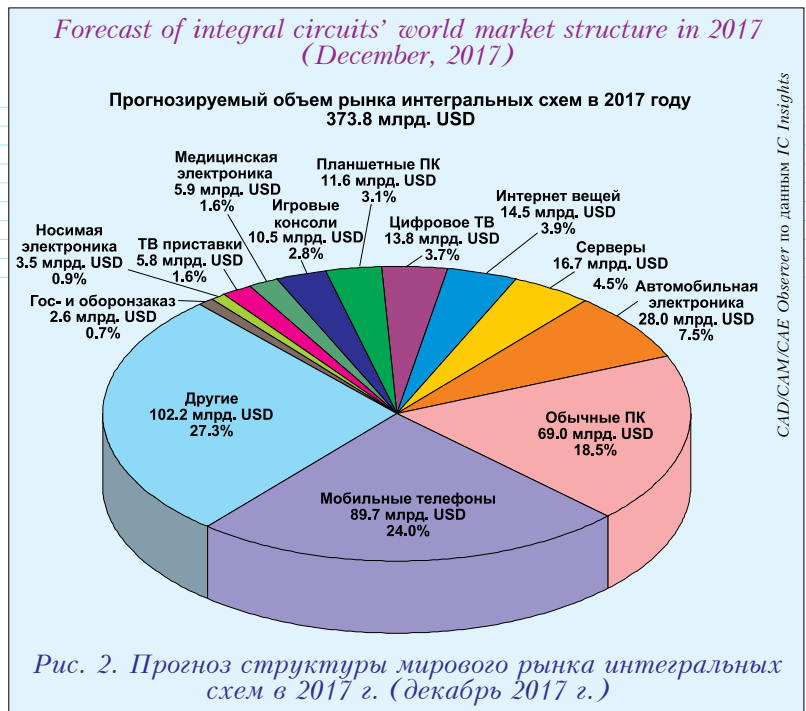
По оценкам аналитической компании *IC Insights*, в 2017–2021 гг. наиболее быстрыми темпами (+13.4%) будет расти сегмент автомобильной электроники, размер которого к 2021 году достигнет 42.9 млрд. долларов или 9.9% от общего объема рынка интегральных схем.

В 2021 году сохранит свои позиции трио самых крупных по объему сегментов:

- мобильные телефоны (105.6 млрд. долларов или 24.3%);
- обычные ПК (66.9 млрд. долларов или 15.4%);
- автомобильная электроника (42.9 млрд. долларов или 9.9%).

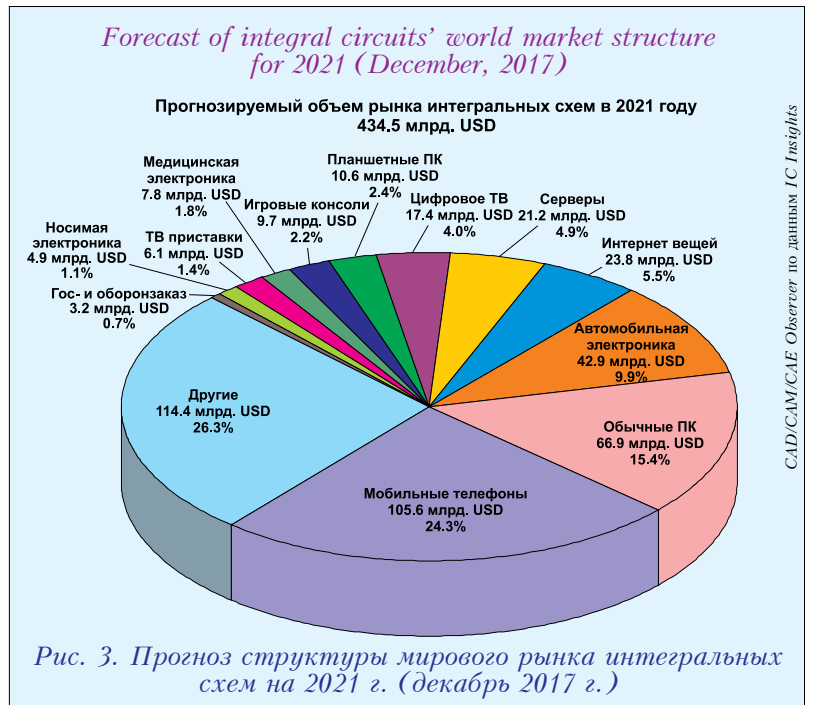
✓ Крупнейшие производители полупроводниковых изделий

Топ-10 производителей полупроводниковых изделий приведен сразу в двух версиях: от аналитических компаний *Gartner* (табл. 1) и *IC Insights* (табл. 2). Интегральные оценки для 2016 года от обеих групп аналитиков очень близки: компании-производители из первой десятки выпустили полупроводниковой продукции на 190.3 млрд. долларов (55.4%) или на 202 млрд. долларов (55.3%) соответственно. Оценки доходов для каждой компании из первой десятки в двух версиях



несколько разнятся, однако порядок, в котором располагаются компании в рейтинге, одинаков – за исключением 4-й и 5-й позиций, которые занимают меняющиеся местами компании *SK Hynix* и *Broadcom*.

За время наших наблюдений, с 2010 года, лидером Топ-10 является компания *Intel*, которая в 2016 году обеспечила 15.7% или 15.6% (по оценкам компаний *Gartner* и *IC Insights* соответственно) от суммарного мирового объема выпуска полупроводниковых



изделий в стоимостном выражении. Вторую позицию занимает компания *Samsung Electronics*, доля которой составляет 11.7% или 12.1% соответственно. Третье место остается за компанией *Qualcomm* с долей 4.5% или 4.2%.

Что касается текущего 2017 года, то, в соответствии с прогнозом, который в ноябре 2017 года опубликовала компания *IC Insights* (табл. 2), на лидерскую позицию в рейтинге крупнейших производителей полупроводниковой продукции впервые выдвигается компания *Samsung Electronics* – её прогнозируемая доля рынка составит 15% (что, однако, меньше доли *Intel* в 2016 году). Впервые предположение о первенстве *Samsung* аналитики *IC Insights* сделали еще в мае 2017 года (рис. 5), сопоставляя динамику квартальных показателей *Intel* и *Samsung*, начиная с I кв. 2016 года.

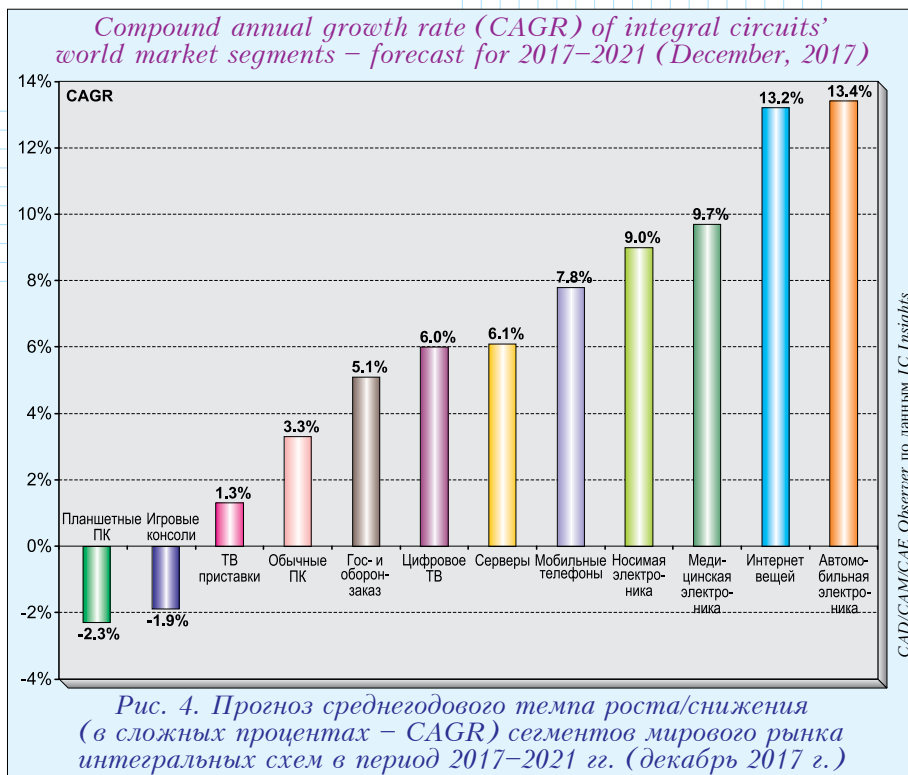
С историческим срезом успехов *Intel* и *Samsung* можно ознакомиться в табл. 2, где приведен списочный состав компаний, входивших в Топ-10 в разное время – в 1993, 2000, 2006 и 2016 гг.

Аналитическая компания *IC Insights* ожидает, что по результатам 2017 года произойдет смена лидера среди производителей полупроводниковой продукции: на первую позицию выдвинется компания *Samsung Electronics*. Годовой объем реализации её полупроводниковых изделий составит 65.6 млрд. долларов (на +48.1% больше, чем в 2016 году), а рыночная доля достигнет 15%.

Кроме изменения позиции *Samsung Electronics*, обращает на себя внимание прогнозируемый в 2017 году существенный прирост дохода корейской компании *SK Hynix* и американской *Micron Technology*, которые выдвигаются на 3-ю и 4-ю позицию соответственно (табл. 2). Столь значительный прирост дохода трех ведущих производителей микросхем памяти (включая *Samsung Electronics*) объясняется ростом цен на память *DRAM* и *NAND*.

✓ **Контрактные производители полупроводниковых изделий**

В табл. 3 приводятся данные аналитической компании *IC Insights* для ведущей пятерки так называемых контрактных производителей полупроводниковой продукции (согласно определению этого термина, компании не занимались самостоятельной разработкой микросхем



в течение последних пяти лет). Почему Топ-5? Ровно столько компаний получили в 2016 году доход более миллиарда долларов. Их доля от всего объема контрактного производства полупроводниковой продукции, который выражается цифрой чуть больше 50 млрд. долларов, составила 87.6%.

За время нашего наблюдения лидером среди контрактных производителей с большим отрывом остается тайваньская компания *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)*. В 2016 году доля *TSMC* от всего объема контрактного производства полупроводниковой продукции составила 59% или 29.5 млрд. долларов.

На второй позиции в 2016 году находится американская компания *GlobalFoundries* с годовым доходом 5.5 млрд. долларов и рыночной долей 11.1%. Ей немного уступает тайваньская компания *United Microelectronics Corporation (UMC)* с доходом 4.6 млрд. долларов и долей 9.2%. Четвертое место занимает китайский производитель *Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)*, заработавший 2.9 млрд. долларов (его доля составляет 5.8%). А замыкает квинтет “миллиардеров-контрактников” еще одна тайваньская компания – *Powerchip* с результатом 1.3 млрд. долларов и рыночной долей 2.5%.

Если же на базе двух таблиц (табл. 1 и табл. 3) составить общий Топ-10, то туда войдет лишь один контрактный производитель – компания *TSMC*, годовой доход которой соответствует 3-й позиции в объединенном рейтинге.

Табл. 3. Крупнейшие контрактные производители микросхем (*foundries*), специализирующиеся только на производстве (*pure-play*), в 2014–2016 гг.

Компания	Страна	2014 г.		2015 г.		2016 г.		2015 г. в сравнении с 2014 г., %	2016 г. в сравнении с 2015 г., %
		Доход, млрд. USD	Доля, %	Доход, млрд. USD	Доля, %	Доход, млрд. USD	Доля, %		
Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)	Тайвань	25.138	59.1%	26.574	58.7%	29.488	59.0%	+5.7%	+11.0%
GlobalFoundries	США	4.355	10.2%	5.019	11.1%	5.545	11.1%	+15.2%	+10.5%
United Microelectronics Corporation (UMC)	Тайвань	4.331	10.2%	4.464	9.9%	4.582	9.2%	+3.1%	+2.6%
Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)	Китай	1.970	4.6%	2.236	4.9%	2.921	5.8%	+13.5%	+30.6%
Powerchip	Тайвань	1.291	3.0%	1.268	2.8%	1.275	2.5%	-1.8%	+0.6%
Топ-5		37.085	87.2%	39.561	87.5%	43.811	87.6%	+6.7%	+10.7%
Прочие компании		5.434	12.8%	5.676	12.5%	6.194	12.4%	+4.5%	+9.1%
Всего		42.519	100.0%	45.237	100.0%	50.005	100.0%	+6.4%	+10.5%

Примечание: таблица составлена с использованием данных компании IC Insights (январь 2017 г.)

Инвестиции в приобретение компаний

Остановимся теперь на крупнейших сделках по слиянию-поглощению компаний, которые свидетельствуют о консолидации рынка полупроводниковых изделий.

✓ Qualcomm купила NXP Semiconductors за 47 млрд. долларов

В октябре 2016 года американская компания Qualcomm (3-е место в рейтинге Топ-10 за 2016 год) объявила о приобретении голландской NXP Semiconductors (7-е место). Сумма сделки составила 47 млрд. долларов.

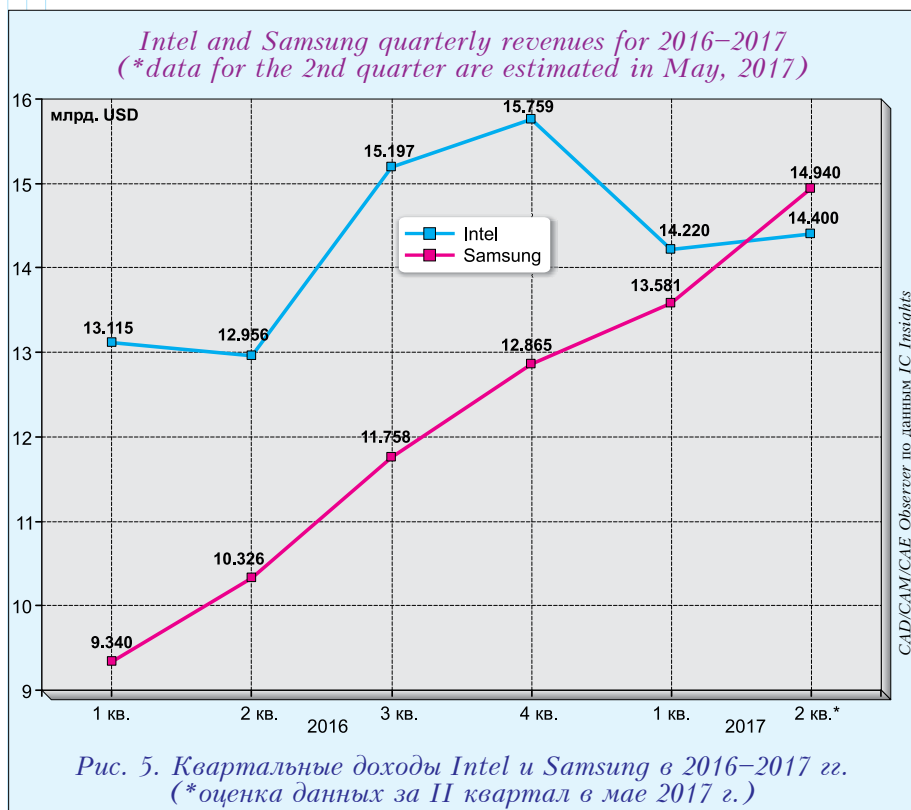
Суммарный доход объединенной компании Qualcomm+NXP по результатам 2017 года прогнозируется в размере 26.3 млрд. долларов (табл. 2). Таким образом, Qualcomm+NXP может претендовать на 3-е место в рейтинге Топ-10 – после Samsung Electronics и Intel.

✓ Toshiba продает подразделение по производству микросхем памяти за 18 млрд. долларов

В сентябре 2017 года было достигнуто соглашение о продаже японской компанией Toshiba (8-е место в рейтинге за 2016 год) своего подразделения Toshiba Memory Corporation, которое производит микросхемы памяти. Сумма сделки составила 18 млрд. долларов.

В качестве покупателя выступает консорциум, возглавляемый американской частной инвестиционной компанией Bain Capital LP, куда входят американские компании Apple, Dell Technologies, Kingston Technology и Seagate Technology, а также корейская SK Hynix.

Сделку пока еще нельзя считать завершенной, поскольку компания Western Digital (не входит в пул покупателей) обратилась в Международный арбитражный суд с требованием приостановить процесс.



Тем временем *Toshiba*, рассчитывавшая на эти средства (чтобы избежать делистинга на Токийской бирже), нашла другой способ привлечь средства, для чего выпустила и реализовала пакет акций на 5.4 млрд. долларов.

✓ **Marvell Technology приобретает Cavium за 6 млрд. долларов**

В ноябре 2017 года американская компания *Marvell Technology* (годовой доход и капитализация на момент заключения сделки оценивались в 2.4 и 9 млрд. долларов соответственно) купила американскую же компанию *Cavium* (1 и 4.5 млрд. долларов). Сумма сделки составила 6 млрд. долларов.

Суммарная капитализация объединенной компании *Marvell+Cavium* на момент заключения сделки оценивалась цифрой не менее 14 млрд. долларов.

✓ **Qualcomm отклонила предложение Broadcom о приобретении за 130 млрд. долларов**

В ноябре 2017 года сингапурская компания *Broadcom* (ожидается смена её юрисдикции на американскую) сделала предложение американской *Qualcomm* об её приобретении за 130 млрд. долларов.

По истечении недели Совет директоров *Qualcomm* отклонил это предложение. Таким образом, не состоялась крупнейшая сделка на рынке,

которая могла привести к образованию компании с капитализацией порядка 200 млрд. долларов.

Инвестиции в разработку и освоение новых технологий

О темпах разработки и освоения новых технологий можно судить по размерам инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (или, как принято в англоязычной литературе, на исследования и разработки – *Research & Development, R&D*), а также по капитальным затратам компаний, располагающих собственными производственными мощностями.

✓ **Затраты на исследования и разработки**

В табл. 4 приводятся соответствующие данные аналитической компании *IC Insights* для производителей полупроводниковой продукции, отранжированных по величине затрат на *R&D*.

Наибольшую сумму на эти цели в 2016 году выделила компания *Intel* – 12.7 млрд. долларов, что составляет почти четверть (22.4%) её годового дохода. На второй позиции в 2016 году находилась компания *Qualcomm*, которая вложила в перспективные разработки 5.1 млрд. долларов или треть (33.1%) своего годового дохода. Третье место занимает *Broadcom* с показателем 3.2 млрд. долларов или пятая часть (20.5%) годового дохода.

Тройка компаний с двухзначным (*double-digit*) приростом инвестиций в 2016 году по

Табл. 4. Расходы на НИОКР производителей полупроводниковых изделий в 2015–2016 гг. в сравнении с доходом в 2016 г.

Компания	Страна	2015 г.		2016 г.				2016 г. в сравнении с 2015 г., %
		НИОКР, млрд. USD	Доля, %	НИОКР, млрд. USD	Доля, %	Доход, млрд. USD	НИОКР/доход, %	
<i>Intel</i>	США	12.133	31.3%	12.740	32.2%	56.9	22.4%	5.0%
<i>Qualcomm</i>	США	5.494	14.2%	5.109	12.9%	15.4	33.1%	-7.0%
<i>Broadcom</i>	США + Сингапур	3.321	8.6%	3.188	8.1%	15.6	20.5%	-4.0%
<i>Samsung Electronics</i>	Корея	2.595	6.7%	2.881	7.3%	44.3	6.5%	+11.0%
<i>Toshiba</i>	Япония	2.923	7.5%	2.777	7.0%	10.1	27.6%	-5.0%
<i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)</i>	Тайвань	2.070	5.3%	2.215	5.6%	29.5	7.5%	+7.0%
<i>MediaTek</i>	Тайвань	1.531	4.0%	1.730	4.4%	8.6	20.2%	+13.0%
<i>Micron Technology</i>	США	1.601	4.1%	1.681	4.2%	15.1	11.1%	+5.0%
<i>NXP</i>	Нидерланды + США	1.660	4.3%	1.560	3.9%	9.5	16.4%	-6.0%
<i>SK Hynix</i>	Корея	1.389	3.6%	1.514	3.8%	14.8	10.2%	+9.0%
<i>NVIDIA</i>	США	1.330	3.4%	1.463	3.7%	6.7	22.0%	+10.0%
<i>Texas Instruments (TI)</i>	США	1.280	3.3%	1.370	3.5%	12.5	11.0%	+7.0%
<i>STMicroelectronics (ST)</i>	Франция + Италия	1.421	3.7%	1.336	3.4%	6.9	19.3%	-6.0%
Топ-13		38.749	100.0%	39.564	100.0%	245.870	16.1%	2.1%

Примечание: таблица составлена с использованием данных компании *IC Insights* (февраль 2017 г.)

сравнению с 2015 годом выглядит так: *MediaTek* (+13%), *Samsung Electronics* (+11%) и *SK Hynix* (+10%).

По оценкам аналитической компании *IC Insights*, наибольшие инвестиции в исследования и разработки в 2016 году сделала компания *Intel* – 12.7 млрд. долларов или 22.4% своего годового дохода.

✓ Капитальные затраты на развитие производства

В табл. 4 приводятся данные аналитической компании *IC Insights* для производителей полупроводниковой продукции, обладающих собственной производственной базой.

В 2016 году в первую тройку входят компании *Samsung Electronics*, *Intel* и *TSMC* – 11.3, 10.2 и 9.6 млрд. долларов соответственно.

В текущем 2017 году рекордсменом по инвестициям в производственную базу станет *Samsung Electronics* – 26 млрд. долларов, что превышает суммарные инвестиции компаний *Intel* (12 млрд.) и *TSMC* (10 млрд.). Если же сравнивать с суммарной величиной инвестиций всех производителей полупроводниковой продукции (85.8 млрд. долларов), то доля инвестиций от компании *Samsung* составляет 30.3%.

В соответствии с прогнозом аналитической компании *IC Insights* на 2017 год, наибольшие капитальные затраты ожидаются у компании *Samsung Electronics* – 26 млрд. долларов.

Освоение передовых технологических норм

Кратко перечислим достижения в освоении передовых технологий производства полупроводниковой продукции.

✓ IBM создала первые чипы на основе технологической нормы 5 nm

Первые в мире процессоры с транзисторами размером 5 nm представила компания *IBM* (рис. 6). Разработка технологии проводилась совместно с компаниями *GlobalFoundries* и *Samsung Electronics*.

Если представленные *IBM* два года назад первые в мире 7-nm чипы имели 20 млрд. транзисторов, то новейший 5-nm чип содержит 30 млрд. транзисторов, объединенных в так называемые кремниевые нанолиты (*Silicon Nanosheets*).

Для коммерческого производства 5-nm чипов, начало которого ожидается в 2020 году, будет использоваться технология фотолитографии в глубоком ультрафиолете (*Extreme Ultraviolet Lithography, EUV*).

Компания *IBM* в сотрудничестве с *GlobalFoundries* и *Samsung Electronics* создала первый в мире чип с транзисторами размером 5 нанометров.

✓ TSMC построит заводы для производства 5-nm и 3-nm изделий

В мае 2017 года компания *TSMC* объявила о планах строительства и ввода в эксплуатацию в 2020 году специального завода для производства полупроводниковых изделий в соответствии с 5-nm технологической нормой. Место расположения завода выбрано в южной части Тайваня, в научном парке *Kaohsiung Science Park* вблизи гор. Гаосюн. Размер инвестиций оценивается цифрой в 15.6 млрд. долларов. Опытное производство 5-nm чипов компания планирует начать до конца 2017 года.

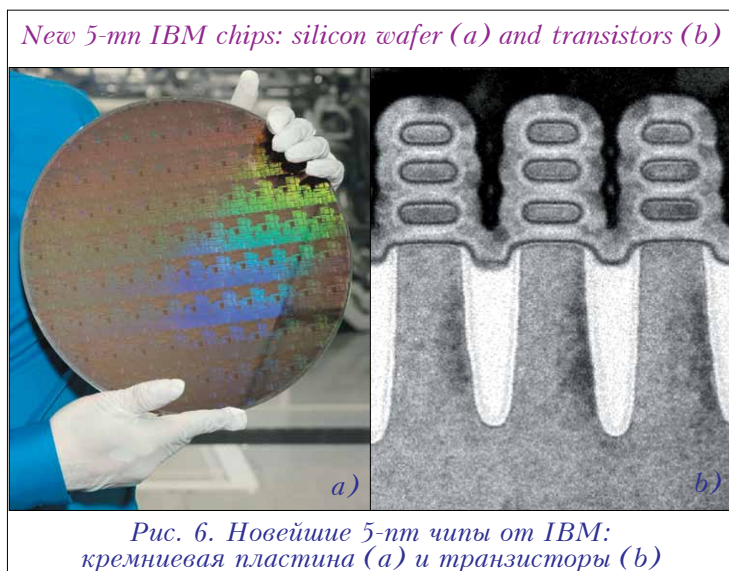
Через полгода, а сентябре 2017-го, *TSMC* рассказала и о планах строительства к 2022 году завода для выпуска изделий по норме 3 nm. Местом для строительства выбран научный парк *Tainan Science Park* в южной части острова, вблизи гор. Тайнань. Размер инвестиций оценивается в 20 млрд. долларов. Разработку 3-nm технологии компания начала только в сентябре 2016 года.

Новейшие процессоры и их разработчики

К сожалению, на момент подготовки обзора ни одна из аналитических компаний не опубликовала развернутые данные об объединенном рынке процессоров.

Опираясь на информацию, представленную в предыдущих обзорах, перечислим ведущих разработчиков процессоров:

- *Intel* (57.0 млрд. долларов);
- *Samsung Electronics* (44.3 млрд. долларов);
- *Qualcomm* (15.4 млрд. долларов);
- *NVIDIA* (6.9 млрд. долларов);



- *Apple* (6.5 млрд. долларов);
- *AMD* (4.3 млрд. долларов).

В скобках указан общий объем реализации полупроводниковых изделий в 2016 году (по версии аналитической компании *IC Insights*), номенклатура которых, естественно, шире, чем только лишь процессоры.

Обращаем внимание читателей, что в список поставщиков процессоров входит *Apple*. Впервые в рейтинги производителей полупроводниковой продукции эта компания была введена аналитиками компании *IHS*. При этом *Apple* рассматривается как *fabless*-компания.

Поскольку в сфере наших интересов находится рынок *HPC*-систем, то мы наблюдаем и за поставщиками процессоров для систем, быстрое действие которых соответствует критериям суперкомпьютерного рейтинга *Top500* (к слову сказать, в ноябре 2017 года опубликован юбилейный, 50-й список). К ним относятся компании:

- *Intel*,
- *AMD*,
- *NVIDIA*,
- *IBM*,
- *Fujitsu Semiconductor*,

а также *ARM Holdings* – разработчик *ARM*-архитектуры, на базе которой разработаны перспективные серверные процессоры, в том числе и для применения в супервычислителях.

Теперь кратко остановимся на некоторых интересных (с нашей точки зрения) разработках, которые не относятся (по крайней мере, пока) к интеловскому мейнстриму для персональных компьютеров и серверов, а также *ARM*-овскому мейнстриму для планшетов и смартфонов.

✓ О сотрудничестве *Intel* и *ARM Holdings*

На организованном компанией *ARM Holdings* мероприятии *ARM TechCon 2017*, прошедшем в 24–26 октября 2017 года в гор. Санта-Клара (шт. Калифорния, США) компания *Intel* объявила о расширении сотрудничества с *ARM Holdings*.

Напомним, что более года назад, летом 2016-го, *Intel* и *ARM Holdings* подписали соглашение, в рамках которого компания *Intel* стала контрактным производителем полупроводниковых изделий, разработанных на базе *ARM*-архитектуры.

На конференции представители *Intel* рассказали о подготовке к производству (на основе технологической нормы 10 nm) тестовой партии процессоров семейства

Табл. 5. Капитальные затраты производителей полупроводниковых изделий в 2015–2016 гг. и прогноз на 2017 г.

Компания	Страна	2015 г.		2016 г.		2017 г.**		2016 г. в сравнении с 2015 г., %	2017 г. в сравнении с 2016 г., %
		Объем инвестиций, млрд. USD	Доля, %	Объем инвестиций, млрд. USD	Доля, %	Объем инвестиций, млрд. USD	Доля, %		
<i>Samsung Electronics</i>	Корея	13.010	19.9%	11.300	16.6%	26.0***	30.3%	-13.1%	+130.1%
<i>Intel</i>	США	7.326	11.2%	9.625	14.2%	12.0	14.0%	+31.4%	+24.7%
<i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)*</i>	Тайвань	8.089	12.4%	10.249	15.1%	10.0	11.7%	+26.7%	-2.4%
<i>SK Hynix</i>	Корея	6.011	9.2%	5.188	7.6%	6.0	7.0%	-13.7%	+15.7%
<i>Micron Technology + Inotera Memories</i>	США + Китай	4.500	6.9%	5.760	8.5%	5.0	5.8%	+28.0%	-13.2%
<i>Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)*</i>	Китай	1.401	2.1%	2.626	3.9%	2.3	2.7%	+87.4%	-12.4%
<i>United Microelectronics Corporation (UMC)*</i>	Тайвань	1.899	2.9%	2.842	4.2%	2.0	2.3%	+49.7%	-29.6%
<i>GlobalFoundries*</i>	США	3.985	6.1%	1.500	2.2%	2.0	2.3%	-62.4%	+33.3%
<i>Toshiba</i>	Япония	1.745	2.7%	1.840	2.7%	1.9	2.2%	+5.4%	+3.3%
<i>SanDisk + Western Digital</i>	Израиль + США	1.460	2.2%	1.750	2.6%	1.8	2.1%	+19.9%	+2.9%
<i>STMicroelectronics (ST)</i>	Франция + Италия	0.467	0.7%	0.607	0.9%	1.1	1.2%	+30.0%	+73.0%
Топ-11		49.893	76.5%	53.287	78.4%	70.1	81.6%	+6.8%	+31.5%
Прочие компании		15.339	23.5%	14.695	21.6%	15.8	18.4%	-4.2%	+7.2%
Всего		65.232	100.0%	67.982	100.0%	85.8	100.0%	+4.2%	+26.2%

Примечание: 1. Таблица составлена с использованием данных компании *IC Insights* (март 2017 г.)

2. * контрактные производители микросхем (*foundries*), специализирующиеся только на производстве (*pure-play*)

3. ** прогноз составлен в марте 2017 г.

4. *** прогноз для компании *Samsung Electronics* скорректирован в ноябре 2017 г.

Cortex-A, содержащих порядка 100 млн. транзисторов и работающих с тактовой частотой 3.5 GHz. По оценке специалистов из *Intel*, процессоры имеют в два раза более высокие показатели в сравнении с сопоставимыми решениями компании *Samsung*.

✓ О сотрудничестве *Intel* и *AMD*

В ноябре 2017 года стало известно, что давнишние конкуренты – компании *Intel* и *AMD* – объединили свои усилия для совместной разработки мобильных процессоров, в которых будут сочетаться вычислительные ядра *Intel Core* и графическое ядро *AMD Radeon*. Стоит отметить, что идея проекта возникла в компании *Intel*.

✓ В *IBM* создали прототип 50-кубитного квантового процессора

В ноябре 2017 года компания *IBM* сообщила о создании прототипа 50-кубитного квантового процессора (рис. 7). Сразу оговоримся, что обсуждение тонкостей функционирования квантовых процессоров, а также их сравнение с привычными кремниевыми кристаллами, предназначенными для обработки двухбитной информации, выходит за рамки настоящей статьи.

Несмотря на то, что прототипы квантовых процессоров (компьютеров), учитывая их достаточно большие габариты, сложно отнести к изделиям для массового применения, тем не менее, мы посчитали необходимым рассказать об этом достижении *IBM*. Эту область уже нельзя относить к отвлеченным изысканиям, поскольку ресурсы более ранней разработки – квантового процессора 17 Qubit – уже доступны для пользователей *IBM Cloud* с помощью платформы *IBM Quantum Experience*. За время осуществления проекта *IBM Q* (начат в марте 2017 года) по созданию первого в мире коммерческого квантового

Prototype of 50-Qubit quantum computer (processor) IBM Q50

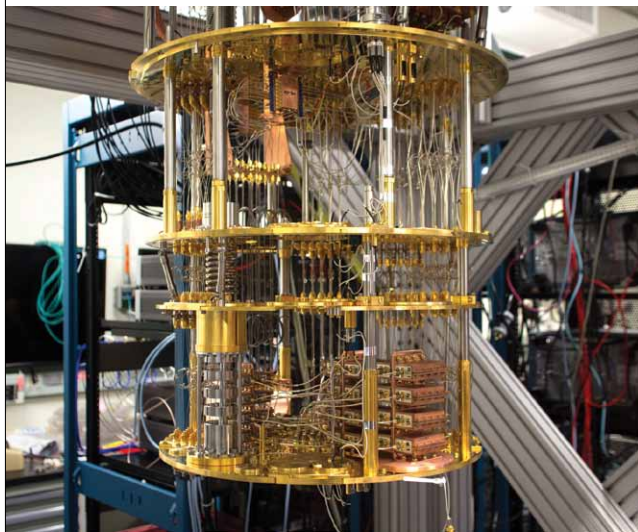


Рис. 7. Прототип 50-кубитного квантового компьютера (процессора) *IBM Q50*

Источник: IBM

компьютера, вычисления с помощью квантового процессора вели не менее 60 тысяч пользователей, среди которых 1.5 тысячи университетов, 300 школ и 300 институтов. Проведено порядка 1.7 миллиона экспериментов, результаты которых легли в основу 35-ти научных публикаций.

✓ ARM-процессоры с реализацией алгоритмов ИИ

В последнее время крайней популярностью стала пользоваться тематика, связанная с искусственным интеллектом (*Artificial Intelligence, AI*). Обратим внимание читателей, что из-за применения этого термина, который не слишком удачно отражает содержательную сторону проводимых работ, в публикациях встречается большое количество преувеличений, которые (по крайней мере, пока) зачастую относятся к области фантастики, причем далеко не всегда научной.

Что же касается процессоров с элементами ИИ, то речь идет об аппаратной реализации некоторых алгоритмов, применяемых в машинном обучении, глубинном обучении и нейронных сетях. (Обсуждение этих вопросов также выходит за рамки настоящей статьи, поэтому все интересующиеся могут самостоятельно провести поиск информации с ключевыми словами наподобие “алгоритмы искусственного интеллекта”).

В этой связи хотелось бы упомянуть процессоры, созданные на базе *ARM*-архитектуры и

Apple A11 Bionic is 64-bit processor based on architecture ARMv8-A (4.3 billion transistors) with six-core CPU (clock frequency up to 2.39 GHz), three-core GPU and NPU (performs up to 600 Gflops as AI-accelerator), manufactured using 10 nm FinFET process



Источник: Apple

Рис. 8. *Apple A11 Bionic* – 64-разрядный *ARMv8-A* процессор (4.3 млрд. транзисторов) с шестью ядрами *CPU* (тактовая частота до 2.39 GHz), тремя ядрами *GPU* и *NPU* (нейронный процессор с производительностью до 600 Gflops как ускоритель алгоритмов ИИ), изготовленный в соответствии с 10-нм технологическим процессом *FinFET*

HiSilicon Kirin 970 is 64-bit processor based on architecture ARMv8-A with CPU (four-core Cortex-A73 and four-core Cortex-A53, clock frequency up to 2.36 GHz), GPU (Mali-G72 MP12) and NPU (performs up to 592 Gflops as AI-accelerator), manufactured using 10 nm FinFET+ process



Источник: HiSilicon (дочерняя компания Huawei)

Рис. 9. HiSilicon Kirin 970 – 64-разрядный ARMv8-A процессор с CPU (четыре ядра Cortex-A73 и четыре ядра Cortex-A53, тактовая частота до 2.36 GHz), GPU (Mali-G72 MP12) и NPU (нейронный процессор с производительностью до 592 Gflops как ускоритель алгоритмов ИИ), изготовленный в соответствии с 10-нм технологическим процессом FinFET+

содержащие так называемые ускорители алгоритмов ИИ (AI Accelerator) или нейронные процессоры (Neural Processing Unit, NPU):

- *Apple A11 Bionic* – этот разработанный компанией *Apple* процессор установлен в смартфонах *iPhone 8*, *iPhone 8 Plus* и *iPhone X*, представленных в сентябре 2017 года;
- *HiSilicon Kirin 970* – разработанный компанией *HiSilicon* (дочерняя компания *Huawei*)

процессор; установлен в смартфонах *Huawei Mate 10*, представленных в октябре 2017 года.

Некоторые характеристики *A11* и *Kirin 970* даны в подписях к [рис. 8](#) и [рис. 9](#) соответственно.

✓ **Серийные ARM-процессоры для серверов и HPC-систем**

К настоящему моменту выпущены следующие серийные серверные процессоры, построенные на базе ARM-архитектуры, которые используются для разработки вычислительных устройств, предназначенных для коммерческого применения:

- *Cavium ThunderX2* – показанный компанией *Cavium* в мае 2016 года процессор, на базе которого созданы модуль для суперкомпьютера *Cray XC50* и система *Apollo 70* от компании *Hewlett Packard Enterprise (HPE)*; оба решения представлены в ноябре 2017 года.

Здесь нельзя не упомянуть о планах Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США (*US Department of Energy, Argonne National Laboratory*), которая собирается инсталлировать новый кластер *Comanche Wave*, разработанный компанией *HPE* на базе процессоров *ThunderX2*. (сообщение также появилось в ноябре 2017 года).

- *Qualcomm Centriq 2400* – разработка компании *Qualcomm*. В ноябре 2017 года начинаются коммерческие поставки созданного ею первого в мире (по утверждению самой компании, которое, впрочем, никто пока не оспорил) серверного процессора, произведенного на основе технологической нормы 10 nm.

Некоторые характеристики процессоров *ThunderX2* и *Centriq 2400* даны в подписях к [рис. 10](#) и [рис. 11](#) соответственно.

Табл. 6. Крупнейшие потребители полупроводниковых изделий в 2015–2016 гг.

Компания	Страна	2015 г.			2016 г.			2016 г. в сравнении с 2015 г., %
		Объем потребления, млрд. USD	Доля, %	Место в рейтинге	Объем потребления, млрд. USD	Доля, (%)	Место в рейтинге	
<i>Samsung Electronics</i>	Корея	30.343	9.1%	2	31.667	9.3%	1	+4.4%
<i>Apple</i>	США	30.885	9.2%	1	29.989	8.8%	2	-2.9%
<i>Dell Technologies</i>	США	10.606	3.2%	4	13.308	3.9%	3	+25.5%
<i>Lenovo Group</i>	Китай	13.535	4.0%	3	12.847	3.8%	4	-5.1%
<i>Huawei</i>	Китай	7.597	2.3%	6	9.886	2.9%	5	+30.1%
<i>Hewlett-Packard Inc.</i>	США	8.673	2.6%	5	8.481	2.5%	6	-2.2%
<i>Hewlett-Packard Enterprise</i>	США	6.485	1.9%	8	6.206	1.8%	7	-4.3%
<i>Sony</i>	Япония	6.892	2.1%	7	6.071	1.8%	8	-11.9%
<i>BVK Electronics</i>	Китай	2.515	0.8%	21	5.818	1.7%	9	+131.3%
<i>LG Electronics</i>	Корея	5.502	1.6%	9	5.172	1.5%	10	-6.0%
Топ 10		123.033	36.8%		129.445	38.1%		+5.2%
Прочие компании		211.735	63.2%		210.239	61.9%		-0.7%
Доход полупроводниковой промышленности		334.768	100.0%		339.684	100.0%		+1.5%

Примечание: таблица составлена с использованием данных компании *Gartner* (февраль 2017 г.)

Cavium ThunderX2 is 64-bit 56-core server ARM-processor (clock frequency up to 3.0 GHz), manufactured using 14-nm FinFET process



Источник: Cavium

Рис. 10. Cavium ThunderX2 – 64-разрядный 56-ядерный серверный ARM-процессор (тактовая частота до 3.0 GHz), изготовленный в соответствии с 14-нм технологическим процессом FinFET

Qualcomm Centriq 2400 is 64-bit 48-core server ARM-processor (clock frequency up to 2.6 GHz), world first server processor, manufactured using 10 nm process (FinFET)



Источник: Qualcomm

Рис. 11. Qualcomm Centriq 2400 – 64-разрядный 48-ядерный серверный ARM-процессор (тактовая частота до 2.6 GHz), который первым в мире был изготовлен в соответствии с 10-нм технологическим процессом (FinFET)

Крупнейшие потребители полупроводниковых изделий

В табл. 6 приведен Топ-10 крупнейших потребителей полупроводниковых изделий.

Лидером регулярно обновляемого компанией Gartner рейтинга Топ-10 в 2010 и 2012–2016 гг. был южно-корейский гигант *Samsung Electronics*. Лишь

однажды, в 2011 году, компании *Apple* удалось отеснить *Samsung* на вторые роли.

В 2016 году компании из списка Топ-10 в сумме потребили более трети (38.1%) объема продукции полупроводниковой промышленности в стоимостном выражении. В 2013, 2014 и 2015 годах этот показатель был несколько ниже: 36.4%, 36.3% и 36.8% соответственно.

Семь компаний из Топ-10, выделенные жирным шрифтом (*Samsung, Apple, Dell Technologies, Lenovo Group, Huawei, Hewlett-Packard Inc., Hewlett-Packard Enterprise*) упоминаются в резюме к первой и третьей частям нашего обзора [1, 3]. По суммарным результатам деятельности этих компаний можно судить о тенденциях развития рассматриваемых нами рыночных сегментов устройств различной вычислительной мощности. 📺

Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. HPC-системы, серверы, облачная IT-инфраструктура // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №4, с. 6–15.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №5, с. 71–86.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Компьютеры, планшетики, смартфоны // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №7, с. 6–14.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2015–2016 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Процессоры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2016, №7, с. 73–78.
5. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2014–2015 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2015, №6, с. 56–63.
6. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2013–2014 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2014, №6, с. 65–73.
7. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры для HPC-систем. EDA-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №6, с. 77–88; №7, с. 85–92.
8. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка. Часть III // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №1, с. 75–86.

Об авторе:

Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, ведущий научный сотрудник Лаборатории математического моделирования окружающей среды и технологических процессов Латвийского университета (Sergejs.Pavlovs@lu.lv), автор аналитического PLM-журнала “*CAD/CAM/CAE Observer*” (sergey@cadcamcae.lv)