

Аль-Килани Валерий

Студент

Умкеева Булгн

Студент

ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»

Al-Kilani Valeriy

Student

Umkeeva Bulgn

Student

FSEIHE «Kalmyk State University»

БУДУЩЕЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. БУДЕТ ЛИ РАБОТАТЬ ЗАКОН МУРА ДАЛЬШЕ? FUTURE OF COMPUTING TECHNOLOGIES. WILL WORK ON MOORE'S LAW?

Аннотация. С развитием информационных технологий и всеми благами, которые они превозносят в нашу жизнь приходят и новые проблемы. Их необходимо решать. Одной из таких проблем является снижение тенденции закона Мура, то есть количество транзисторов перестало удваиваться каждые 24 месяца. Авторы данной статьи предлагают варианты решения возникшей проблемы.

Ключевые слова: информационные технологии, закон Мура, вычислительные технологии, производительность микропроцессоров.

Abstract. With the development of information technology and all the benefits which they extol in our lives come new problems. They need to be solved. One of these problems is to reduce the trend of Moore's Law, that is, the number of transistors has ceased to double every 24 months. Authors of this article offer versions of the solution of the arisen problem.

Keywords: information technology, Moore's Law, computing technology, microprocessor performance.

В современный период не удивительно применение Интернета и умного дома, есть урбанизированные поселения, где информационные технологии созданы в одно целое, мощь компьютерных технологий увеличивается в геометрической прогрессии, портативные технологии становятся стационарными.

Современное человечество основывается на эволюции информационных технологий, тесно связанных с законом Мура.

Гордон Мур (Gordon E. Moore), родоначальник фирмы Intel, в 1965 году спрогнозировал развитие микроэлектроники в научном труде в журнале Electronics, которое получило название закона Мура, где говорится о том, что число транзисторов, которые размещены одной площади микрочипа каждый год будет увеличиваться вдвое или плотность микросхемы чипов станет вдвое больше, следовательно, процессоры будут дешевле, иметь быстродействующий эффект и массовое распространение, это представлено на рисунке прогноза Мура:

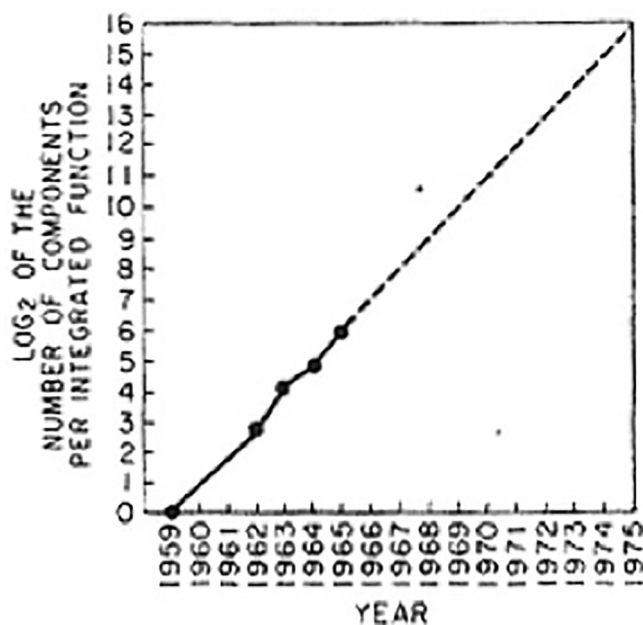


Рис. 1. Закон Мура (Electronics, 1965)

В 1975 году закон Мура претерпел изменения, где дальнейшее удвоение микротранзисторов в чипах происходит 1 раз в 2 года. Объем микротранзисторов на процессоре становится вдвое больше каждые 1,5 года.

В 2012 г. компания Intel произвела 22-нанометрового процессора Ivy Bridge следующего поколения Core, при использовании технологии Tri-Gate, которая предусматривала трансформацию от планарных транзисторов к мощным. Методика Tri-Gate создаст процессоры, которые функционируют с меньшим напряжением и с наименьшим током. Улучшается производительность и повышается энергетическая эффективность. Технологию Tri-Gate применяют в чипах последующих поколений до конца десятилетия.

Долгосрочным планом по развитию Intel согласно словам руководителя Пола Отеллини предусмотрены такие шаги:

- В 2013 г. Intel представило 22-нанометровые процессоры Core 4-го поколения Haswell, обладающие архитектурой Ivy Bridge.
- В 2013 г. осуществляется пробный выпуск 5-го поколения процессора Core Broadwell, и применяется 14-нанометровая методика, позволяющая энергосберегать и снизить стоимость. Процессоры Broadwell запустили в 2014 г.
- В 2015–2016 гг. Intel перешла на 10-нанометровые процессоры.
- Корпорация разрабатывает методику по производству 7-нанометровых и 5-нанометровых процессоров, и налаживает массовое производство.

Но в дальнейшем миниатюризация продолжается, «трёхмерный» дизайн сегодняшних транзисторов применяется в затворах, позволяющие переключать устройства от одного до двух состояний, в плоских транзисторах это уже не работает. Кремниевый транзистор достигает 10 нм, где квантово-механический эффект уменьшается транзистором. Трудности состоят в кремниевых транзисторах, которые обеспечивают передачу данных в микрочипах, достигших миниатюризации, а это мешает повысить оперативность.

Дальнейшая миниатюризация транзисторов требует инновационных изолирующих технологий, позволяющие затворам «отключаться».

Фирма Intel приблизительно 8–11 лет будет выполнять классический закон Мура, изобретая транзисторы с современной схемой. Однако потом размер многих деталей транзистора будут минимальными потенциальными размерами, и усовершенствование микрочипов исчерпает себя, значит, дальнейшее уменьшение будет невозможно.

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law

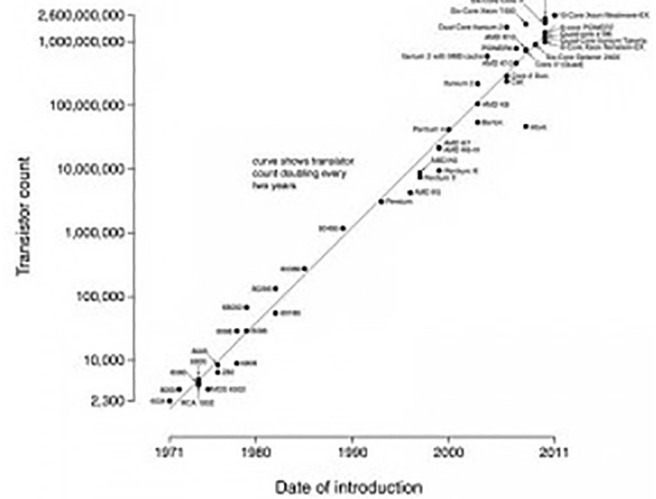


Рис. 2. Тенденция увеличения транзисторов на микросхеме в течение 40 лет

Это произойдет к 2020 году. Эту же дату называет физик и футуролог Мичио Каку (Michio Kaku), как время прекращения действия закона Мура. Гордон Мур в 2007 году также высказал опасения по поводу прекращения действия своего закона, но не уточнил дату.

Решений, способных продлить жизнь кремниевым интегральным схемам, несколько. Приведем основные методы разрешения «кремниевого» кризиса, которые ожидают нас в ближайшей перспективе:

1. Увеличение количества ядер. Этот метод основан на достижении высокой степени параллелизма вычислений путем увеличения числа ядер на одном кристалле, и в настоящее время уже используется в современных процессорах. Проблема здесь в том, что медные проводники, при помощи которых происходит обмен информацией между ядрами процессоров, характеризуются значительной рассеиваемой мощностью, что весьма затрудняет передачу больших объемов данных, которая требуется для эффективной работы многоядерных процессоров. Для решения этой проблемы необходимо «распараллеливание» больших массивов данных.

2. Трёхмерная структура процессоров. Увеличить производительность микропроцессоров можно, используя трехмерные многослойные микросхемы. Трёхмерные микросхемы более компактны и обладают большей производительностью и меньшим тепловыделением (по мнению Ника Бострома, с толщиной чипа до 300 мкм не должно быть проблем). Однако из-за высокой себестоимости подобных микропроцессоров и больших технологических сложностей производство подобных устройств ещё пока не налажено.

3. Увеличение площади процессоров. Увеличить производительность можно также, создавая микросхемы больших размеров при наличии некоторого допуска на ошибки.

4. «Неточный» процессор. «Неточный» процессор обладает значительно более высокой энергетической эффективностью за счёт свойственной ему тенденции ошибаться при расчётах. Путём расчёта вероятности ошибок и ограничения типов операций, редко использующихся элементов интегральных схем, при выполнении которых они допустимы, можно улучшить характеристики процессоров, снизив энергопотребление и увеличив производительность. Теоретически можно добиться 15-кратного выигрыша в показателях энергоэффективности.

5. Метакомпьютинг. Последний метод, который может обеспечить дальнейший рост доступной вычислительной мощности — это метакомпьютинг. Или, другими словами, использование компьютерных сетей для создания распределенной вычислительной инфраструктуры. Наилучшим образом работает для задач, легко поддающихся параллелизации. Цель метакомпьютинга: образовать динамически организуемый из распределенных вычислительных систем метакомпьютер, который выступал бы в виде единой вычислительной среды. Отдельные компьютеры, соединенные высокоскоростными сетями передачи данных, являются составными частями метакомпьютера и в то же время служат точками подключения пользователей.

Есть ещё один вариант, который мы не рассмотрели — отказ от кремния и **переход на новые материалы**. Поскольку дальнейшая миниатюризация для кремния невозможна, единственным выходом в результате останется переход на новые материалы. Существует три базовых материала для производства электроники: металлы, полупроводники (используемые в современных транзисторах) и изоляционные материалы или диэлектрики, которые не проводят электричество, а, следовательно, не могут использоваться для прохождения сигнала — воздействие на диэлектрики мощных энергетических полей приводит к их повреждению.

Первой альтернативой, способной заменить кремниевые полупроводниковые интегральные микросхемы, являются **диэлектрики**. Ученые из Государственного университета Джорджии совместно с научными сотрудниками из немецкого Института квантовой оптики Макса Планка обнаружили, что при воздействии на диэлектрики короткими, но интенсивными электрическими импульсами, они начинают проводить электрический ток и при этом сохраняют свою целостность.

Электронные устройства на базе диэлектрических начинают проводить электричество при воздействии на него мощного светового поля. Новые транзисторы приводятся в действие лазерными импульсами. Использование в электронных устройствах нового поколения диэлектриков позволит увеличить скорость работы транзисторов в 10 тысяч раз. Поскольку современные процессоры работают со скоростью примерно 3 ГГц, а диэлектрики в 10 тысяч раз быстрее полупроводников, значит, диэлектрические чипы будут работать со скоростью в 30000 ГГц. И это только начало. По мнению учёных мы располагаем возможностью создания устройства с тактовой частотой в 1000000 ГГц. (Nature, 2012).

Вторая альтернатива — **углеродные нанотрубки**. У них превосходные электрические свойства и они идеально подходят по форме для транзисторов. Электроны в углеродных транзисторах могут перемещаться с большей лёгкостью, что, понятно, позволяет быстрее передавать данные. Диаметр углеродных нанотрубок — 1–2 нм. Транзисторы на углеродных нанотрубках — рациональное решение возникающей проблемы (технологии CNT)

В экспериментальных транзисторах исток и сток расположены по длине нанотрубок. Это позволяет повысить быстродействие и уменьшить потребляемую энергию, однако размер больше не сократится.

Третьей возможной альтернативой кремнию может стать **индий-галлий-арсенида**. Как написано выше, современные микропроцессоры производятся по методике Tri-Gate, основанной на транзисторах с вертикальной 3d-структурой. Однако даже эта методика не позволит развиваться вычислительной технике достаточно долго, потому что мобильность электронов в кремнии ограничена, следовательно, нужны новые материалы.

Учёные из Университета Пердью и Гарвардского университета (США) создали транзистор из материала, который содержит три тончайших нанопроводка из индий-галлий-арсенида — многообещающего полупроводникового материала, способного заменить кремний. Транзисторы из арсенида индия-галлия, созданные учёными, имеют длину затвора в 20 нанометров. Микросхемы, основанные на технологии трёхмерных транзисторов из индий-галлий-арсенида, будут более производительными и энергоэффективными. Важный недостаток новой технологии — цена микрочипов.

Можно ещё упомянуть технологию **многократного использования электронов в микросхемах** (организация передачи сигнала на уровне элементарных частиц, путем спиновых волн). В современных архитектурах электроны перемещаются от истока к стоку,

а затем теряются. Чисто теоретическая идея Intel заключается в том, что можно производить множество операций, не теряя электронов.

Также не будет забывать, что увеличивать вычислительные мощности можно не только за счёт улучшения аппаратного обеспечения, но и программного тоже. Ещё Станислав Лем несколько десятилетий назад сформулировал закон Донды, согласно которому, то, что маленький компьютер может сделать, имея большую программу, большой компьютер сделает, имея малую.

Это не все предлагаемые альтернативы, их количество довольно велико, но даже только эти пять методов вкупе с переходом на новые материалы способны «продлить жизнь» закону Мура как минимум лет на 10–20.

Минусом является понимание того факта, что все эти альтернативы в традиционном духе и временные, дающие нам небольшую отсрочку. Нам необходимо радикальное решение, чтобы преодолеть очередной фазовый переход в эволюции вычислительной техники. Но прежде чем начать рассмотрение таких радикальных решений, нам потребуется вернуться к закону Мура.

Проблем с увеличением производительности не будет, а тенденции, описываемые законом Мура, смогут продолжаться и после достижения барьера в 10-нм, если на смену имеющимся технологиям придут новые технологии, совершенно иной программной и аппаратной реализацией вычислительных машин.

Литература

1. Сорокин В. А., Хохлова Н. В. Компьютерные технологии будущего глазами фантастов / Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум» — 2015.