

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА – 2017 г.

ЧАСТЬ 2. ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ БЕСКОНЕЧНА

ДМИТРИЙ БОДНАРЬ, к.т.н., генеральный директор, АО «Синтез Микроэлектроника»

Уже много лет кремнию как основному материалу микроэлектроники предрекают закат, но каждый раз приходится сдвигать эти сроки. И 2017 г. подтвердил это в очередной раз. Равно как и то, что микроэлектроника никогда не стоит на месте, а эволюционирует и находится в поиске будущего даже тогда, когда мировая экономика стагнирует или находится в рецессии. В 2017 г. осуществлен ускоренный переход к освоению 7-нм технологии, и продолжены прикладные исследования по технологии 1–5 нм. Начало статьи см. в предыдущем номере.

БОРЬБА ЗА НАНОМЕТРЫ И ЗАКАЗЧИКОВ НА МИРОВОМ РЫНКЕ

Кроме преодоления рубежа продаж в 400 млрд долл. (если оно состоится), к главным достижениям мировой микроэлектроники в 2017 г. можно отнести достижения в области 7-нм техпроцесса. Обострившаяся конкуренция за рынки вынудила ведущие мировые компании ускорить эти работы и перейти к коммерциализации этой технологии.

В последние годы технологическую моду в новых производственных процессах микроэлектроники задает великолепная четверка – Samsung, TSMC, Intel, Globalfoundries. Два предыдущих процесса – 28 и 14 нм – компания Globalfoundries лицензировала у Samsung. Однако затем она решила самостоятельно разрабатывать следующие процессы по нормам 10 и 7 нм. Для этого Globalfoundries приобрела заводы и специалистов IBM, что позволило ей сделать технологический рывок. В июле 2017 г. компания объявила о доступности технологии 7 нм 7LP FinFET [23]. Эта технология предназначена для выпуска процессоров для мобильных устройств, серверов и оборудования сетевой инфраструктуры. Первые заказы будут выполнены в первом полугодии 2018 г., а со второго полугодия начнется серийный выпуск.

Globalfoundries анонсирует, что по сравнению с технологией 14 нм, плотность компоновки чипов увеличится более чем вдвое, а производительность возрастет на 40%. Эта технология, которая станет осваиваться на Fab 8 в США, будет использоваться литографию в жестком ультрафиолетовом диапазоне (EUV).

В начале этого года компания Intel заявила о намерении начать тестовый выпуск процессоров по 7-нм норме в текущем году, а сам процесс уже находился в стадии тестирования [24]. Новые процессоры должны быть меньше и гораздо более энергоэффективны в сравнении с техпроцессом 14 нм. Однако не менее интересным является анонсирование использования в этих процессорах новых материалов, включая нитрид галлия, что открывает новые возможности в повышении уровня автономности ноутбуков с подобными процессорами. Одной из причин проблем, возникших у Intel в последние годы, как раз являлось недостаточное внимание компании к изделиям для мобильных приложений. Являясь безоговорочным лидером в процессорах для стационарных приложений, Intel не уделяла должного внимания продукции для планшетов, смартфонов и т.д. Осознав эту ошибку, руководство компании несколько лет назад решило изменить подходы.

Борьба за заказчиков и скорейшее начало серийного производства по меньшим проектным нормам носит очень жесткий характер. Каждая из компаний использует свою тактику в надежде опередить конкурентов. Так, Samsung ранее отказалась от техпроцесса 20 нм, чтобы ускорить работы по процессу 14 нм. В гонке за реализацией процесса 7 нм у Samsung не все складывается, как ожидалось. По плану во второй половине 2017 г. должен был быть завершен монтаж оборудования новой линии 7 нм, а с IV кв. 2017 г. должно было начаться массовое производство. Однако возникшие трудности вынудили Samsung

перенести сроки более чем на квартал [25]. Тем самым Samsung дает фору своему основному конкуренту – TSMC. Эта фабрика уже перехватила у Samsung заказы Qualcomm на 7-нм чипы SnK. В середине 2017 г. Samsung заявила о сокращении инвестиций в развитие 7-нм техпроцесса и о желании сосредоточить усилия на освоении 6-нм технологии. Начало массового производства по этому процессу запланировано с 2019 г. Ранее Samsung запустила производство по техпроцессу 10 нм и подтвердила работы над процессом 8 нм. 20 октября текущего года Samsung заявила о завершении аттестации процесса 8 нм FinFET 8LPP и готовности к массовому производству [26]. Процесс 8LPP обеспечит 10-% уменьшение потребления и такое же сокращение площади чипа в сравнении с 10-нм техпроцессом. Новый процесс предназначен для мобильных сетевых, серверных, облачных приложений, а также для операций с криптовалютами. Из заявлений Samsung следует, что аттестация закончена на три месяца раньше срока.

Для компании TSMC, основного конкурента Samsung в последние годы, опередить южнокорейского гиганта является не столько делом принципа, сколько задачей первоочередного наполнения заказами своего производства и борьбы за заказчиков. В отличие от Samsung, компания TSMC является чистой фондри. Не имея собственной продукции, TSMC может получить прибыль только за счет выполнения заказов по контрактному изготовлению кристаллов от сторонних заказчиков. Именно новые технологии в последние годы дают основную выручку компании.

Например, в 2016 г. более половины доходов получено по заказам на реализацию кристаллов по норме 28 нм и менее.

Ограниченные поставки TSMC чипов по норме 7 нм начались в первом полугодии 2017 г. [27]. Поскольку экономические показатели и выход годных были недостаточными, TSMC увеличила штат инженеров-исследователей и выделила рекордные 2,2 млрд долл. на НИОКР. Начало массового производства запланировано на I кв. 2018 г. У TSMC – более 20 заказчиков на 7-нм кристаллы.

В 2016 г. TSMC начала строительство в Китае нового завода производительностью 20 тыс. пластин в месяц диаметром 300 мм по норме 16 нм [28]. Выбор 16 нм обусловлен действующими ограничениями на передачу в Китай современных технологий, к которым относится техпроцесс 14 нм. Предприятие будет запущено в работу во второй половине 2018 г. Нет сомнений, что довольно быстро на этом предприятии будет освоена технология 14 нм. Однако больше, чем TSMC, в этом проекте строительства завода автор отметил бы заслугу правительства Китая. Несмотря на все формальные и неформальные ограничения со стороны Тайваня и США, Китай планомерно добивается передачи самых современных технологий, производств и рынков сбыта на свою территорию. Чаще всего для этого ему нет необходимости вкладывать в эти проекты собственные гигантские инвестиции – достаточно создать привлекательные условия для зарубежных компаний. Насколько резко это контрастирует с действиями руководства и правительства России!

TSMC также ведет работы по 5-нм техпроцессу и менее. Для этого чипмейкер запланировал строительство нового завода в южной части Тайваня с инвестициями примерно 15,6 млрд долл. Серийное производство на нем намечено на 2020 г. В этом же году запланирован монтаж технологических линий по норме 3 нм с началом серийного производства в 2022 г. Однако этот проект столкнулся с рядом трудностей, обусловленных природоохранной оценкой и недостатком электричества в Тайване. В результате TSMC начала рассматривать возможность строительства завода, работающего в США по 3-нм техпроцессу. В этом проявляется отличие открытой частной рыночной компании от государственной: при возникновении непредвиденных препятствий она моментально реагирует и ищет альтернативные варианты, чтобы не нарушить ключевые сроки проекта. И государственный патриотизм не играет никакой

роли. Хотя можно было бы предположить, что при прочих равных условиях решение будет принято в пользу Тайваня. И действительно, в октябре текущего года TSMC сообщила об урегулировании всех спорных вопросов с тайваньским правительством и о решении строить новую фабрику все-таки в Тайване [29].

Одним из сдерживающих факторов в ускорении подготовки 7-нм производства является задержка компанией ASML поставки литографического оборудования с излучением в жестком ультрафиолетовом диапазоне (EUV). С начала года ASML выпустила всего шесть систем EUV при текущей потребности в 23 установках, что привело к борьбе чипмейкеров за это оборудование. Однако увеличение выпуска оборудования позволило ASML в III кв. текущего года увеличить выручку до 2,447 млрд евро, чистую прибыль до 557 млн евро [30]. В одном можно не сомневаться – текущий спрос на системы EUV в еще большей мере улучшит финансовые показатели ASML в 2018 г.

Конкурентная битва этой «великолепной четверки» за заказчиков и рынки, а уже потом за нанометры разительно контрастирует с гонками наших отечественных чипмейкеров за большие нанометры в отсутствие заказчиков [31]. Именно благодаря этой конкурентной борьбе идет технический прогресс, постоянно снижается себестоимость и цены на рынке электроники. Благодаря ей объемы мировых рынков полупроводников растут и регулярно во все более короткие сроки обновляют рубежи в очередную сотню миллиардов долларов. Наша страна с 0,5-% мировой долей затерялась на дне, и все ускоряющийся мировой поток не замечает нашего присутствия. Похоже, что нам на дне становится если не комфортно, то привычно. Очевидно, концепция отечественной «бутиковой» микроэлектроники устраивает руководство нашей промышленности.

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ БЕСКОНЕЧНА

По мере приближения к рубежу проектных норм 10 нм и менее мировой полупроводниковой электронике все сложнее и дороже обходится преодоление новых барьеров и подтверждение закона Мура. Ранее пределом кремниевой технологии ученые считали норму 7 нм. В настоящее время они полагают, что по кремниевой технологии могут изготавливаться транзисторы с 5-нм затвором.

Однако даже жесткая конкуренция между собой ведущих мировых компаний не мешает им объединять свои усилия в разработке новых процессов. Так, компании IBM, GlobalFoundries

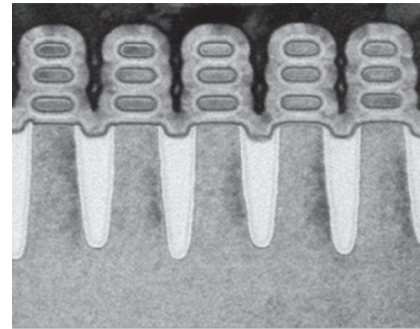


Рис. 4. Транзистор объединения Research Alliance с нанослоями кремния для 5-нм техпроцесса

и Samsung, входящие в объединение Research Alliance, разработали новый техпроцесс изготовления транзисторов с нанослоями кремния. Эти транзисторы, в отличие от FinFET, имеют многослойную структуру затвора в виде нанолистов (см. рис. 4) [32]. Применение такого транзистора в 5-нм процессе позволяет увеличить количество транзисторов на чипе до 30 млрд против 20 млрд для 7-нм технологии. Новая технология позволит повысить производительность и уменьшить потребление, благодаря чему ресурс работы батарей в смартфонах и других мобильных устройств может быть увеличен в два-три раза. Новый техпроцесс был представлен на конференции в Киото (Япония). Специалисты IBM считают, что 5-нм кристаллы появятся быстрее, чем это предполагалось ранее. В 2014 г. компания IBM заявила, что для выполнения исследований по технологии с нанолистой архитектурой ее часть инвестиций на пять лет составит 3 млрд долл.

Упомянутые выше исследования IBM подтверждают вывод о преждевременном исключении кремния из числа перспективных материалов на ближайшие годы. Однако уже при нормах менее 5 нм из-за эффекта квантового туннелирования происходит резкий рост токов утечек, что делает кремний непригодным для создания транзисторов. Выходом является использование новых материалов вместо кремния. Компания IBM

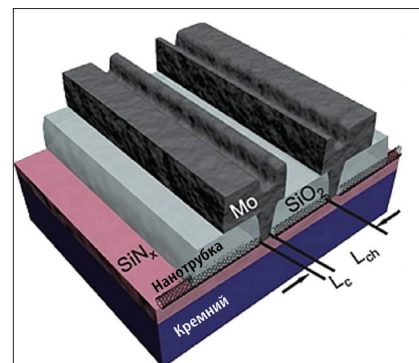


Рис. 5. Транзистор IBM, выполненный по проектной норме 1,8 нм, с каналом из углеродной нанотрубки

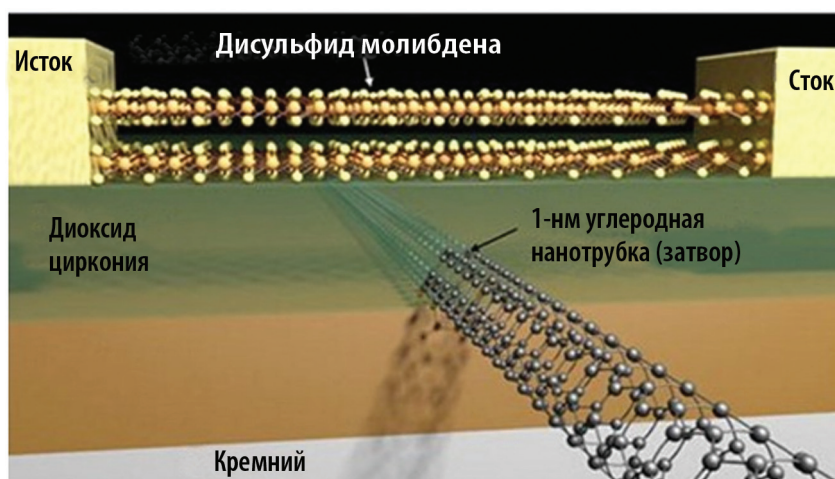


Рис. 6. Транзистор Калифорнийского университета, изготовленный по проектной норме 1 нм, с затвором из углеродной нанотрубки

разработала вариант 1,8-нм транзистора с углеродной нанотрубкой в качестве токопроводящего канала транзистора (см. рис. 5) [33]. Материалом управляющего электрода являлся молибден. В IBM заявили, что первые кристаллы с углеродными нанотрубками должны появиться в 2020 г.

По последней информации, ученым из IBM удалось практически реализовать транзистор с углеродными нанотрубками площадью 40 нм [34]. Для этого пришлось использовать новую технику и технологию создания молибденовых контактов к углеродным нанотрубкам. Для увеличения плотности тока ученые использовали соединение из нескольких нанотрубок в каждом транзисторе. Результаты испытаний транзисторов с углеродными нанотрубками показали их более высокие быстродействие и эффективность в сравнении с кремниевыми транзисторами при более чем в два раза меньшей площади новых транзисторов.

Ученые из Калифорнийского университета в Беркли анонсировали создание самого миниатюрного в мире 1-нм транзистора с использованием углеродных нанотрубок в качестве затвора, а не канала транзистора (см. рис. 6) [35]. В таком транзисторе в качестве токопроводящего канала используется дисульфид молибдена (MoS_2), который иногда применяется для смазки двигателя. В отличие от кремния, MoS_2 более устойчив к эффекту квантового туннелирования. Ученые из Беркли полагают, что их транзистор позволит продлить действие закона Мура, правомерность которого для норм менее 7 нм подвергается сомнению. Команда ученых из Калифорнийского университета признает, что, несмотря на успешные результаты тестирования 1-нм транзистора, для его использования в архитектуре ИС предстоит пройти длинный и непростой путь. Однако передовая микроэлектроника никогда

не стоит на месте и то, что вчера казалось фантастикой, завтра становится реальностью. 

ЛИТЕРАТУРА

23. Globalfoundries on Track to Deliver Leading Performance 7 nm FinFET Technology. June 13. 2017//www.globalfoundries.com.
24. Intel pursues Moore's Law with plan to make 7-nm chips this year. Jan 27. 2017//www.computerworld.com.
25. Samsung's 7 nm Process May Be Behind the Schedule. October 12. 2016. CTIMES//www.ctimes.com.tw.
26. Samsung Completes Qualification of 8 nm LPP Process. October 18. 2017//www.news.samsung.com.
27. TSMC tests 7-nanometer chips, edges ahead of Samsung. Nikkei Asian Review. May 26. 2017//www.asia.nikkei.com.
28. TSMC and Nanjing Sign 12-inch Fab Investment Agreement. Hsinchu. Taiwan. March 28. 2016//www.tsmc.com.
29. TSMC Aims to Build World's First 3-nm Fab. EE Times. October 2. 2017//www.eetimes.com.
30. Press Releases. October 18, 2017. ASML Holding//www.asml.com.
31. Дмитрий Боднар. Погоня российской микроэлектроники за нанометрами в отсутствие рынка сбыта. Электронные компоненты. 2017. № 1.
32. IBM Research Alliance Builds New Transistor for 5 nm Technology. June. 05. 2017//www-03.ibm.com.
33. IBM Research Breakthrough Paves Way for Post-Silicon Future with Carbon Nanotube Electronics. October 01. 2015//www-03.ibm.com.
34. IBM has made Carbon nanotubes smaller and faster than silicon. June 30. 2017//www.nextbigfuture.com.
35. Scientist Just Developed the World's Smallest Transistor. October 7. 2016//www.sciencealert.com.