

Главный редактор Я. А. ФЕДОТОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АЛАДИНСКИЙ В. К., БЕЛЯЕВ Е. Я., ВОЛОГДИН Э. Н., ВОРОБЬЕВ Н. Н.
ГАРБА Л. С. (зам. главного редактора), ДАНИЛИН В. Н., ДМИТРИ
ЕВ В. В. (зам. главного редактора), ЕРУСАЛИМЧИК И. Г., ЕГОРЕН
КОВ В. А., ИЛЬИН В. Г., ИНОЗЕМЦЕВ С. А., КАМЕНЕЦКИЙ Ю. А.
КАРАЦЮБА А. П., КАТМАН А. К., КАУСОВ С. Ф., КОРНИЛЬЕВ Г. Э.
(зам. главного редактора), КОРОВИН Г. Г. (ответственный секретарь)
КРАСИЛОВ А. В., КРУГЛОВ И. И., КУЗНЕЦОВ Ю. А., МАЗЕЛЬ Е. Э.
МИХАЙЛОВ Л. Н., НЕВЕЖИН В. К., НОСОВ Ю. Р., ПОЛИКАНОВ Ю. В.
РУБЦОВ И. Н., СКВОРЦОВ И. М., СПИРО Н. Н., СУПОВ С. В., СУШ
КОВ В. П., ФРОНК С. В.

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Серия 2

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Выпуск 5 (123), 6(124)

Научно-технический сборник 1978 Год издания двадцатый

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ

Ф.Г.Онуприенко, А.Г.Греков, А.Н.Поспелов, Корпуса мощных ВЧ и СВЧ транзисторов	3
О.В.Сопов, В.В.Бачурин, В.К.Невежин, Мощные кремниевые ВЧ и СВЧ МДП-транзисторы	16
Ю.В.Поликанов, И.И.Монин, В.М.Ногин, Е.В.Камоликова, С.А.Спугин, Кремниевые лавинно-пролетные диоды для волноводных линий связи	26
А.Б.Полянов, О.В.Чкалова, А.Б.Егудин, СВЧ полевые транзисторы с барьером Шоттки на арсениде галлия	34
В.Я.Ваксенбург, В.Н.Данилин, А.М.Зубков, В.И.Шапиро, Мощные полевые СВЧ транзисторы на арсениде галлия	42
Л.Н.Афонин, Е.З.Мазель, Мощные высоковольтные кремниевые транзисторы.	59
Е.З.Мазель, Мощные низкочастотные и высокочастотные кремниевые транзисторы	67
А.М.Косогов, В.Л.Аронов, Мощные интегральные согласованные каскады и внутрисогласованные транзисторы	76
В.М.Вальд-Перлов, В.В.Вейц, Л.С.Сибирцев, Лавинно-пролетные диоды сантиметрового диапазона	87
О.В.Сопов, В.В.Бачурин, В.П.Дьяконов, С.И.Зиенко, В.Ю.Смердов, Мощные ВЧ и СВЧ МДП-транзисторы-импульсные приборы наносекундного диапазона.	103

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «ЭЛЕКТРОНИКА»
МОСКВА

БИБЛИОТЕКА
ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОНИКИ
АН СССР

О.В.Солов, Ю.П.Докучаев, В.Г.Маранц,
Е.И.Цой, В.И.Федосов

ЭЛЕКТРОННЫЕ НАРУЧНЫЕ ЧАСЫ - МИКРОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО И ИЗДЕЛИЕ БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

В рассматриваемой статье сформулированы основные технические требования к электронным компонентам ЭНЧ и на примере наиболее сложного комплектующего элемента - БИС управления ЭНЧ, показана сложность решенных технических задач.

Описана блок-схема ЭНЧ, показано, что наиболее приемлемым технологическим направлением для получения БИС управления ЭНЧ является КМОП-технология, приведены достигнутые в настоящее время цифровые показатели по токам потребления, точности хода и т.д. Описан технологический маршрут изготовления КМОП БИС с металлическим затвором.

Показано, что к настоящему времени технический уровень ЭНЧ является определенным этапом в этой отрасли техники, сформулированы и обоснованы задачи дальнейшего ее развития.

Электронные наручные часы (ЭНЧ), еще пять-шесть лет назад известные относительно немногим, сегодня знакомы почти каждому. ЭНЧ входят в жизнь также просто и естественно, как телевизоры, стиральные машины и другие "чудеса" бытовой техники. Наручные часы - это необходимый предмет для населения промышленно развитых стран и кажется вполне естественным использовать достижения электроники для совершенствования именно такого массового и нужного людям изделия.

Однако это маленькое и простое на вид "чудо" явилось одним из наиболее сложно реализуемых, более сложным чем цветной телевизор, карманный электронный вычислитель и многие другие изделия, олицетворяющие в глазах людей мощь современной электроники.

Оказалось, что наручные часы предъявляют такие жесткие требования к плотности размещения электронных компонентов в объеме корпуса и такие требования по экономичности потребления тока, какие не возникают ни в одном из известных нам бытовых изделий.

Потребовалось около 20 лет, труд больших коллективов исследователей, изыскание сложных технических решений и организация новых производств, чтобы от первых примитивных попыток внедрить электронику в механические часы перейти к полностью электронному прибору измерения времени - точному, изящному и надежному изделию массового производства.

От миниатюрных транзисторов к сверх БИС

Первый опыт использования электроники в наручных часах в конце 50-х - начале 60-х годов был основан на успехах транзисторной техники и направлен на поиск экономически целесообразного повышения точности хода.

Создание миниатюрных транзисторов размером 1,5–2 мм, способных работать при токах около 5–10 мкА и напряжении 1,2–1,5 В, позволило заменить анкерный механизм механических часов более стабильным электронно-механическим источником опорных колебаний. В таких часах собственные резонансные колебания камертона поддерживались энергией транзисторного *RC* —генератора и преобразовывались во вращательное движение зубчатых колес храповым механизмом. Камертонные часы обеспечивали в серийных моделях точность хода ± 5 с в сутки против ± 30 с в сутки в чисто механических часах. Отечественной промышленностью подобные часы выпускались с генератором на миниатюрных транзисторах типа ГТ109 и ГТ310.

Следующий этап использования электроники в наручных часах отделен от первого целым десятилетием и связан с решением двух принципиальных вопросов: разработкой в начале 70-х годов малогабаритных кварцевых резонаторов на относительно невысокую частоту (диапазон десятков кГц) и успехами полупроводниковой электроники в части создания твердотельных интегральных схем, способных работать от низковольтных источников питания (с ЭДС $\approx 1,5$ В) с крайне малым потреблением тока. Теперь частота опорных колебаний в часах задавалась высокостабильным кварцевым резонатором, а камертон, работающий в режиме вынужденных колебаний, исполнял роль двигателя. При этом электронный генератор, кроме активных элементов схемы возбудителя колебаний, содержал еще делитель частоты со сравнительно небольшим коэффициентом деления для перехода от резонансной частоты кварцевого резонатора к резонансной частоте камертона. Вся схема, выполненная в одном кристалле, работала от малогабаритного ртутно-цинкового элемента с ЭДС $\approx 1,35$ В и емкостью 60 мА·ч в течение 1–1,5 лет. Точность хода часов с кварцевым стабилизатором частоты составляет $\pm 0,5$ с в сутки. Однако часы с камертонными двигателями не получили широкого распространения из-за относительно быстрого механического износа, связанного с высокой для механических систем частотой колебаний камертона, существенно большей, чем у анкерного механизма. Дальнейшее развитие наручные электронно-механические часы со стрелочной индикацией получили после изобретения миниатюрных шаговых и балансных электродвигателей, которые приводятся во вращательное движение электрическими импульсами с частотой 1 или 2 Гц.

Сочетание кварцевого резонатора, интегрального делителя частоты с соответствующим коэффициентом деления (2^{14} – 2^{15}) и миниатюрных электродвигателей с малой скоростью вращения обеспечивают электронно-механическим часам и высокую точность хода $\pm 0,5$ с в сутки и большую долговечность механизма, а в части внешнего оформления в них использован богатый опыт производства механических часов. Таким образом, современные электронно-механические часы — это результат целого ряда технических достижений, однако

решающую роль в их появлении сыграли успехи полупроводниковой электроники. Именно создание интегральной схемы, реализующей достаточно большой коэффициент деления при низком напряжении и крайне малом потреблении тока, дало возможность использовать и резонатор и микроэлектродвигатель и обеспечить при этом необходимую продолжительность (1–1,5 года) работы без замены источника питания. Достоинства, приданные стрелочным часам внедрением электроники, сочетаясь с привычной формой показаний времени, несомненно делают их привлекательными для многих, однако одновременно они подчеркивают ограниченность подобного технического решения. Например, электрический привод механизма создал высокую комфортность часов, тем, что ликвидировал необходимость ежедневной подзаводки, а чисто циклический характер работы механической системы уменьшает эту комфортность необходимостью корректировать показания календаря в конце месяца.

Учитывая, что появление электронно-механических часов совпадает по времени с такими сложными микроэлектронными устройствами, как карманные калькуляторы и микропроцессоры, представляется естественным и не очень сложным следующий шаг – переход к полностью электронным часам, обеспечивающим более полную комфортность их использования. Однако этот естественный шаг оказался весьма непростым и, по сути дела, не завершен и в настоящее время. Главным препятствием, возникшим на пути к полностью электронным часам, явилась высокая сложность электронного механизма.

Современные полностью электронные часы представляют собой прибор, содержащий следующие основные узлы:

кварцованный генератор опорных колебаний с подстроечным конденсатором для регулировки точности хода;

большую интегральную схему, выполняющую все необходимые операции по определению, хранению и индикации точного времени;

светодиодный или жидкокристаллический индикатор и один или два элемента питания.

Часы со светодиодным индикатором могут содержать также небольшую интегральную схему, согласующую БИС с индикатором по мощности, а часы с жидкокристаллическим индикатором могут содержать повышающий преобразователь напряжения также для согласования с индикатором, работающим при напряжении 4,5–10 В. Большая интегральная схема выполняет следующие основные операции: деление частоты опорных колебаний до частоты 1 Гц (в том случае, если нет необходимости отсчитывать доли секунды); последующее деление частоты в специальных счетчиках на 60, 60, 24 (или 12), 7, 31 и 12 – таким образом осуществляется определение и хранение информации о времени и календаре; дешифрацию состояний указанных счетчиков в семисегментном коде для вывода на индикацию; управление и коррекцию показаний часов.

БИС может также иметь ПЗУ для запоминания високосного цикла и автоматической коррекции числа дней в месяце, а также

электронную регулировку точности хода с целью устранения последнего механического узла — триммера. В зависимости от объема информации и выполняемых функций БИС может содержать от 1500 до 3500 элементов против 250–300 транзисторов в БИС делителя частоты электронно-механических часов.

Высокая сложность технологического процесса низкопороговых комплементарных МОП — интегральных схем, достаточно низкий в начальный период выход годных изделий и, соответственно, высокая стоимость и явились тем препятствием, которое вынудило ограничить количество функций в первых цифровых электронных часах минимальным объемом информации о времени, т.е. часами и минутами.

Первые отечественные образцы часов с жидкокристаллическим индикатором были разработаны в мае 1973 года. В дальнейшем они были значительно усовершенствованы и выпускаются в настоящее время под маркой "Электроника Б6-02". Совершенствование технологии и повышение выхода годных изделий дали возможность в последующие годы создать часы с более полной информацией о времени, выраженной в секундах, минутах, часах, числе и дне недели в цифровом коде ("Электроника Б6-03"). Интегральная схема таких часов содержит около 1500 транзисторов. Последние модели часов с наиболее высокой комфортностью имеют индикацию полного календаря (т.е. число, день недели в буквенной нотации и месяц, продолжительность которого корректируется автоматически, в том числе в зависимости от продолжительности года), а также электронную цифровую регулировку точности хода.

Все эти часы обладают высокой точностью $\pm 0,5$ с в сутки и способны работать без замены источников питания в течение года, хотя их большая интегральная схема содержит несколько тысяч транзисторов.

Проблемы и задачи микрoeлектроники ЭНЧ

Создание существующих сегодня моделей ЭНЧ явилось результатом решения ряда научно-технических задач и, прежде всего, разработки технологии КМОП интегральных схем, позволившей сочетать в единой БИС высокую функциональную сложность, предельно малое потребление тока, низкое напряжение питания и экономические показатели, приемлемые для изделия массового производства. Уровень требований к этим характеристикам БИС и вытекающие из них физико-технологические проблемы легко понять на конкретных примерах.

Наиболее просто формулируются требования к энергетике БИС, поскольку они вытекают из возможностей современных миниатюрных источников тока, которые по своим габаритным размерам могут быть размещены в корпусе часов. Лучшие современные батареи, пригодные для ЭНЧ, имеют емкость около 180 мА часов при ЭДС $\approx 1,5$ В. Емкость аккумуляторов примерно в 3 раза меньше при ЭДС $\approx 1,25$ В.

В процессе эксплуатации ЭДС батарей падает до 1,2–1,3 В, а под нагрузкой напряжение батареи уменьшается до 1,1–1,2 В. В корпусах часов со стандартными калибрами электронного блока размещается не более двух батарей, в связи с чем электроника часов должна надежно функционировать при снижении напряжения до 1,5–2 В.

Рассчитывая на эксплуатацию ЭНЧ без замены источников питания, в среднем в течение года легко определить, что весь электронный механизм должен потреблять ток не более 15–20 мкА при емкости элементов питания 180 мА·ч и 10–12 мкА при емкости 120 мА·ч. Поскольку помимо БИС в ЭНЧ входят другие потребляющие компоненты – генератор, индикатор и т.д., потребление БИС не должно превышать 8–10 мкА независимо от ее функциональной сложности. Столь высокие требования по энергетике микросхем явились причиной того, что для ЭНЧ используется наиболее сложный сегодня конструктивно-технологический вариант больших МОП-интегральных схем, главное достоинство которого – наименьшее по сравнению с другими построениями потребление тока. Схемотехническая основа современных ЭНЧ – это логические схемы на низкороговых МОП-транзисторах дополняющих (комплементарных) типов проводимости, нормально-закрытых, если напряжение "затвор-исток" равно нулю или ниже чем пороговое напряжение. Элементарная ячейка таких микросхем (комплементарный инвертор) – есть последовательное соединение двух МОП-транзисторов с индуцированным каналом (у одного n-типа, а у другого p-типа), затворы которых соединены между собой. Логическое состояние инвертора определяется напряжением, приложенным к общему затвору инвертора. Это напряжение создается предыдущим каскадом и может принимать два значения: либо быть близким к положительному потенциалу источника питания либо к отрицательному потенциалу источника питания. Если положительный полюс источника питания заземлен, то напряжение на входе инвертора (его общем затворе) может изменяться от 0 до E_n . Таким образом, если напряжение на затворе инвертора равно нулю, то напряжение "затвор-исток" p-канального транзистора также равно нулю и этот транзистор закрыт, а напряжение между затвором и истоком n-канального транзистора близко к напряжению питания и, так как напряжение питания больше чем пороговое напряжение, n-канальный транзистор открыт. На выходе инвертора напряжения близко к E_n . Инвертор в состоянии логической "1". Если напряжение на входе инвертора принимает другое возможное значение, т.е. $U_{gx} = -E_n$, то теперь открывается p-канальный транзистор, а n-канальный закрывается (так как в этом случае напряжение между его затвором и истоком близко к нулю). На выходе инвертора напряжение становится близким к нулю. Инвертор в состоянии логического нуля.

Решающее значение с точки зрения потребления тока имеет тот факт, что в последовательной цепи один из двух транзисторов всегда закрыт. Поэтому статический ток потребления комплементарного инвертора минимален и равен току утечки закрытого транзистора.

Динамический ток вызван в основном перезарядкой емкостей элементов схемы и, как любой емкостной ток, зависит от величины емкости, частоты переключения и напряжения питания. Последнее не может быть меньше, чем это допускается пороговыми напряжениями МОП-транзисторов. Для переключения инвертора из одного логического состояния в другое достаточно напряжение несколько большее, чем пороговое напряжение каждого из транзисторов. Однако в состав БИС для ЭНЧ, кроме логики, входят и активные элементы генератора опорных колебаний. Поэтому для правильного функционирования БИС необходимо, чтобы сумма абсолютных значений пороговых напряжений n и p -канального транзистора не превосходила минимального значения напряжения питания.

Из совокупности этого условия и отмеченных ранее особенностей миниатюрных источников тока нетрудно понять, что средние значения пороговых напряжений обоих типов транзисторов должны иметь значения 0,8–1,0 В при питании ЭНЧ от двух батарей. В ЭНЧ с одной батареей сумма пороговых напряжений не должна превышать 1,2 В. Для понимания проблемного характера задач, связанных с созданием БИС для ЭНЧ, по-видимому, целесообразно более подробно пояснить содержание полученных значений пороговых напряжений и тока потребления. Исходя из допустимого тока потребления БИС в 10 мкА, легко получить, что даже для простейших часов типа "Электроника Б6-02" сумма статического и динамического тока, потребляемого одним транзистором, не должна превосходить 0,01 мкА. При увеличении функциональной сложности ЭНЧ потребление тока на один транзистор необходимо пропорционально уменьшать.

Очевидно, что при столь малых значениях тока потребления весьма существенный вклад в него может внести обратный ток p - n переходов транзистора, тем более в условиях весьма развитого периметра и значительной площади p - n переходов, характерных для БИС. Например, в ЭНЧ "Электроника Б6-03" периметр p - n переходов составляет более 100 мм, а их площадь около 5 мм². При таком соотношении площади и периметра обратный ток p - n переходов практически целиком определяется током поверхностной утечки, тем более, что половина периметра приходится на наиболее опасную границу слаболегированной p -области с n^+ -областями расположенных в ней n -канальных транзисторов.

Учитывая, что концентрация примеси в p -области не превосходит 10^{16} см⁻³, нетрудно понять, что ликвидация токов поверхностной утечки в этом случае требует от технологического процесса значительной плотности поверхностного заряда и поверхностных состояний на 1–2 порядка меньших, чем для биполярных транзисторов. Еще более сложной является задача обеспечения низких пороговых напряжений n и p -канальных МОП-транзисторов.

Решающим фактором, который дает возможность образовать в одном кристалле низкопороговые приборы обоих типов проводимости,

является изыскание технических средств, позволяющих реализовать в изоляторе затвора плотность поверхностного заряда $\sim 10^{10} \text{ см}^{-2}$ и близкую к ней плотность поверхностных состояний, тогда как для биполярных транзисторов удовлетворительным считается уровень 10^{12} см^{-2} , а для высокопороговых МОП-транзисторов — 10^{11} см^{-2} . Не менее важно, чтобы материал электрода затвора в минимальной степени искажал форму энергетических зон в полупроводнике на границе с изолятором. Величина поверхностного заряда и плотности поверхностных состояний под электродом затвора сложным образом зависит от кристаллографической ориентации подложки, толщины, способа и условий образования изолятора затвора, материала электрода затвора и метода его нанесения, степени чистоты травителей, газовых сред и рабочих камер теххимического, вакуумного и термического оборудования.

Таким образом создание технологии низкопороговых КМОП БИС является комплексной многофакторной задачей, в которой все факторы, зачастую противоречивые, должны быть увязаны между собой таким образом, чтобы достигнуть по сути дела предельного на сегодня уровня совершенства и чистоты изолятора и границы раздела полупроводника и электрода затвора с изолятором. Причем это необходимо обеспечить в условиях большого количества технологических операций, связанных с размещением в одном кристалле транзисторов разного типа проводимости.

Последнее обстоятельство совместно с более сложной схемотехнической и физической структурой основных логических элементов КМОП БИС и соответственно более низкой плотностью их размещения в кристалле является причиной большой поражаемости структуры, более низкого технологического выхода и большей материалоемкости КМОП БИС по сравнению с другими конструктивно-технологическими вариантами. Характерным примером, иллюстрирующим технологическую сложность КМОП БИС, может служить сложившееся сегодня положение с устройствами полупроводниковой памяти большой информационной емкости.

Первое статическое КМОП ОЗУ емкостью 1024 бит в кристалле было разработано в 1975 г., когда уже выпускались динамические МОП ОЗУ емкостью 4096 бит. К 1978 г. информационная емкость экспериментальных образцов динамических МОП ОЗУ достигла 65 кбит

в кристалле, а КМОП ОЗУ только 4096 бит. Обобщая приведенные выше примеры, можно сформулировать главную задачу научных исследований, решение которой позволило не только создать ЭНЧ как изделие массового производства, но и открыло новые возможности для других изделий бытовой и промышленной техники на основе низкопороговых КМОП БИС. Содержанием ее явилось изыскание и обоснование совокупности технологических процессов, способных по своей сути обеспечить:

низкие пороговые напряжения n и p -канальных МОП-транзисторов, совмещенных в одном кристалле;

малые значения токов поверхностных и объемных утечек при значительном периметре и площади p - n переходов;

высокую плотность размещения элементов в кристалле;

серийноспособность технологии в целом, т.е. возможность промышленного выпуска изделий с необходимыми параметрами при групповой обработке пластин и при том качестве основных и вспомогательных материалов, которое обеспечивается промышленностью.

Опираясь на научные результаты и опыт, накопленные при разработке отечественных ВЧ МОП-транзисторов, а также на результаты фундаментальных исследований ионного легирования, методов низкотемпературного нанесения диэлектрических слоев, пиролитического осаждения тугоплавких металлов, методов теххимической обработки пластин на основе пергидрольно-аммиачных смесей в сочетании с традиционными процессами полупроводниковой технологии, был разработан технологический процесс, содержание которого состоит в следующем.

В высокоомной пластине кремния n -типа, ориентированной по плоскости $[100]$, термическим окислением, фотолитографией, имплантацией ионов бора и последующим диффузионным отжигом формируется слаболегированная область n -типа необходимой конфигурации. Затем традиционными процессами планарной технологии образуются диффузионные области n^+ и p^+ -типа, выполняющие функции стоков и истоков n и p -канальных транзисторов, межсоединений и охраняемых областей, предотвращающих паразитные связи между элементами. Далее с поверхности пластины удаляется весь окисел. На ее химически подготовленной поверхности термическим окислением и последующей стабилизацией фосфорносиликатным стеклом образуется изолятор затвора толщиной $1200 \text{ \AA}$. Затем осаждается слой молибдена толщиной $1000\text{--}12000 \text{ \AA}$ методом термического разложения карбонила молибдена и фотолитографией создается рисунок затворов и межсоединений нижнего уровня металлизации. Изоляция молибденовой металлизации от алюминиевых межсоединений верхнего уровня осуществляется слоем двуокиси кремния, образованным низкотемпературным окислением моносилана.

Этот же процесс используется для защиты поверхности микросхемы. Такое построение технологического процесса позволило сочетать в нем простоту технологии высокопороговых МОП ИС с металлическими затворами и электрические характеристики и плотность упаковки более сложной поликремниевой технологии, используемой для подобных целей за рубежом. Сочетание этих качеств достигается за счет следующих отличительных особенностей процесса: удаление маскирующего окисла с поверхности пластины после формирования легированных областей в полупроводниковой подложке освобождает ее от нежелательных поверхностных и объемных загрязнений изолятора, на-

копленных в предшествующих технологических операциях. Гладкая без поверхностного рельефа поверхность пластины предотвращает накопление загрязнений в углах профиля, образуемого фотолитографией окисла, и дает возможность осуществить надежную химическую очистку пластин перед формированием изолятора затвора.

Низкие температуры всех термических операций, следующих за изготовлением изолятора затвора, малая химическая активность молибдена и его высокая электроотрицательность способствуют сохранению необходимого совершенства и чистоты изолятора и границы его раздела с полупроводником и металлом.

Отжиг изолятора в водороде, имеющий место при осаждении молибдена, дополнительно уменьшает плотность поверхностного заряда в нем и плотность поверхностных состояний на границе с полупроводником. Совместное действие перечисленных факторов обеспечивает электрофизические характеристики изолятора, необходимые для реализации низких пороговых напряжений n и p -канальных МОП-транзисторов, а размещение такого изолятора по всей поверхности микросхемы создает низкий уровень обратных токов p - n переходов. Хорошая проводимость молибдена даст возможность использовать слой толщиной 1000-1200 Å, в связи с чем рисунок фотошаблона передается на рабочую пластину с отклонениями менее чем 0,5 мкм. Это позволяет в простом технологическом процессе реализовать электрические характеристики транзисторов, которые в поликремниевой технологии достигаются только более сложным процессом самосовмещенных затворов. Сочетание однородного по толщине изолятора по всей поверхности микросхемы с малой высотой рельефа сложного рисунка молибденовой металлизации создает даже более благоприятные условия для формирования рисунка верхнего уровня алюминиевых межсоединений, чем это имеет место в более сложной технологии "ПЛАНОКС".

Совокупность этих факторов, т.е. точная передача размеров рисунков по молибдену, весьма слабо выраженный рельеф поверхности и трехуровневая система межсоединений, создает необходимые условия для высокой плотности размещения элементов в кристалле. При размерах и допусках, достаточно просто реализуемых в производстве (минимальное окно 4x4 мкм, ошибка размещения ± 3 мкм), разработанный процесс обеспечил среднюю плотность размещений до 600 и максимальную (в зоне плотной упаковки) до 900 транзисторов на 1 мм^2 и относительно невысокую материалоемкость КМОП БИС. Технология легко освоена серийным заводом, практически одновременно с завершением разработки.

Сегодняшний объем выпуска, себестоимость изделий и возможность ее дальнейшего снижения, на наш взгляд, свидетельствуют о высокой серийноспособности технологии и ее перспективности для изделий, содержащих несколько тысяч транзисторов в кристалле, что позволяет реализовать ЭНЧ с любыми функциями времени.

Разработка и организация промышленного выпуска тех моделей ЭНЧ, которые находятся сегодня на прилавках магазинов, с одной стороны, завершили этап становления новой технологии и нового вида производства, а с другой — поставили и новые задачи.

Последние можно условно разбить на две группы, хотя решение каждой из них создает условия для прогресса в другой.

Содержание одной группы задач состоит в совершенствовании ЭНЧ именно как прибора измерения времени в таких его аспектах как:

снижение себестоимости до предельно низкого уровня, позволяющего использовать их, например, как часы для детей школьного и дошкольного возраста;

увеличение продолжительности работы без замены источников питания;

повышение точности хода.

Значительное снижение себестоимости ЭНЧ, на наш взгляд, может быть основано на том факте, что уже сегодня себестоимость БИС сравнима со стоимостью миниатюрного конденсатора постоянной емкости и составляет около 5% себестоимости ЭНЧ в целом, которая складывается в основном из стоимости таких комплектующих элементов как:

корпусов часов, монтажная плата, кварцевый резонатор, индикатор, миниатюрный конденсатор переменной емкости для подстройки частоты кварцевого генератора, миниатюрный конденсатор постоянной емкости, две биполярные ИС, выполняющие энергетические функции питания сегментов и знакомест индикатора в часах со светодиодным индикатором, элементы питания.

При таком распределении стоимости компонент представляется целесообразным реализовать функции подстроечного и постоянного конденсаторов и биполярных ИС в кристалле большой интегральной схемы, предельно уменьшив тем самым количество комплектующих компонентов, трудоемкость сборки, а также упростив конструкции монтажной платы. Последняя в предельном случае может представлять собой подобие дешевого современного пластмассового корпуса для ИС и БИС с соответствующими областями для размещения остальных компонент или даже являться пластмассовым корпусом ЭНЧ. Вместе с тем необходимо учитывать, что увеличение функциональной сложности БИС повлечет за собой и повышение ее себестоимости, в связи с чем это усложнение необходимо проводить с разумной постепенностью, чтобы в каждом конкретном случае получить максимальный экономический и технический эффект с учетом перспектив дальнейшего снижения себестоимости БИС. Именно эта концепция заложена во вновь создаваемые модели ЭНЧ.

В частности, в разработанной в настоящее время модели ЭНЧ "Электроника Б6-302" подстройка частоты генератора опорных колебаний выполняется не подстроечным конденсатором, как в известных

моделях часов, а электронным цифровым механизмом в составе кристалла КМОП БИС. Это и упрощает комплектацию часов и устраняет из конструкции один из наименее надежных элементов и в несколько раз снижает требования к точности начальной настройки частоты кварцевого резонатора – стабилизатора частоты опорных колебаний.

В этой же модели КМОП БИС выполняет не только функции отсчета и хранения информации о времени, но и энергетические функции питания сегментов светодиодного индикатора током в несколько миллиампер, в связи с чем отпала необходимость комплектовать указанную модель одной из двух биполярных ИС. Опыт, накопленный при производстве этой модели, явится основанием для более радикального изменения конструкции ЭНЧ.

Решение двух других задач этой группы изыскивается в направлении существенного уменьшения динамического тока потребления. Особенно это относится к повышению точности хода, так как одним из очевидных средств решения этой задачи является увеличение частоты опорных колебаний до значений, соответствующих высокой термостабильности резонансной частоты кварцевого резонатора.

Вторая группа задач по дальнейшему совершенствованию ЭНЧ связана с существенным увеличением функциональной сложности БИС.

Разработка и освоение базовой технологии КМОП БИС сделало возможным уже сегодня поставить задачу превращения часов в такой сложный прибор на руке человека, какой раньше мыслился только в научной фантастике.

Вполне реальными задачами ближайшего времени являются:

совмещение в наручных часах функций индикации времени, таймера, будильника, многопрограммного спортивного секундомера и т.п.;

совмещение в приборе на руке функций, связанных с индикацией временных интервалов, и калькулятора достаточно высокой сложности, записной книжки и т.п.;

передача прибору на руке медицинских функций по контролю за состоянием человека, таких как контроль давления, температуры, пульса и т.п.

Реальность этих задач подтверждается тем, что уже сегодня есть образцы часов, совмещающих функции индикации времени и простейший спортивный секундомер, функции индикации времени и простой калькулятор.

Очевидно, что помимо уже понятных проблем, связанных с увеличением БИС из-за усложнения функций, решение указанных выше задач в первую очередь связано с разработкой сложных конструкций, с созданием малогабаритных датчиков, решением эргономических и чисто эстетических проблем.

Над всеми этими задачами и работают сегодня создатели электронных наручных часов.

Стр.

Т-13
Форм
Инд.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ:

Стр.131, 12-я строка сверху вместо

C_0 - начальное значение порогового напряжения
следует читать

$U_{зи. пор}^{(0)}$ - начальное значение порогового напряжения

Редакторы: Коровин Г.Г., Кротова О.Д., Шишкова Ф.М.

Технический редактор В.В.Васильева

Корректор Т.И.Шалимова

Т-13251	Подписано к печати 18 августа 1978 г.
Формат 70x108/16	Усл.п.л. 25 Уч.изд.л. 25,8 Тираж 2200 экз.
Инд. 3836	Зак. 895 Цена 3 р. 75 к.

Производственно-издательский отдел ЦНИИ "Электроника"
Москва, 117415, проспект Вернадского, 39