

### **13.12. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ**

Рассмотренные выше ЗЭ являются элементами интегральной микроэлектроники, схемотехнический путь развития которой связан с изготовлением на одном кристалле полупроводника большого количества электронных приборов, соединений между ними и изолирующих слоев. Микроскопические области полупроводника, в которых созданы те или иные полупроводниковые приборы, пред-

ставляют собой статические неоднородности, свойства которых не должны изменяться за все время хранения и эксплуатации ИМС. Размеры статических неоднородностей уменьшаются с возрастанием уровня интеграции, но это уменьшение допустимо лишь до некоторого предела, который, как полагают специалисты, будет достигнут уже к 2000 г. В связи с этим в последние годы ведутся работы по исследованию новых физических принципов и эффектов с целью создания принципиально новых электронных устройств. Это направление получило название функциональной электроники. Работа приборов функциональной электроники основана на использовании для обработки и хранения информации динамических неоднородностей в однородном объеме твердого тела — гановских электрических доменов, цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), пакетов зарядов в приборах с зарядовой связью (ПЗС), поверхностных и объемных акустических волн и др. Длительность существования динамических неоднородностей может быть кратковременной (в ПЗС) или долговременной (в приборах на ЦМД). Такие неоднородности создаются физическими методами и исчезают при снятии внешнего возбуждающего фактора. Динамические неоднородности обладают способностью управляемого переноса по объему тела и могут осуществлять перенос сигнала как в аналоговой, так и в дискретной форме.

В настоящее время обнадеживающие результаты применения физических явлений для создания функциональных устройств получены в нескольких направлениях исследований — акустоэлектронике, магнитоэлектронике, квантовой микроэлектронике и др.

**Запоминающие устройства на приборах с зарядовой связью.** В ПЗС в качестве динамических неоднородностей используются пакеты зарядов неосновных носителей, создаваемых у поверхности полупроводника под действием внешнего электрического поля.

Структура ПЗС (рис. 13.34) представляет собой цепочку МДП-конденсаторов. Если на один из электродов 1, 2 или 3 подать положительное напряжение, то основные носители — дырки — уйдут в глубину подложки и под этим электродом образуется обедненная основными носителями область, которая получила название *потенциальной ямы*. В эту потенциальную яму соберутся неосновные носители —

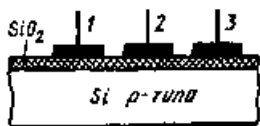


Рис. 13.34. Структура ПЗС

электроны, которые создадут в ней некоторый заряд (зарядовый пакет). Если теперь подать напряжение на второй электрод  $U_2 > U_1$ , то под этим электродом образуется более глубокая потенциальная яма, в которую перейдет заряд неосновных носителей из первой потенциальной ямы. Расстояния между электродами должны быть очень малыми, чтобы зарядовые пакеты, перетекали из одной потенциальной ямы в другую без потерь на диффузию.

На рис. 13.35 приведена структура трехтактного сдвигового регистра на ПЗС. Он представляет собой МДП-

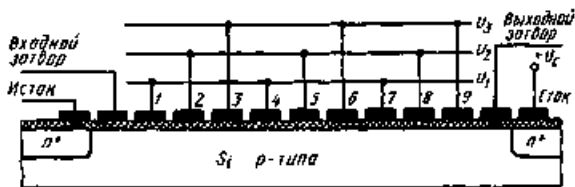


Рис. 13.35. Структура сдвигового регистра на ПЗС

транзистор с большим количеством затворов, в котором можно выделить три секции. Первая секция — входная — включает в себя исток и входной затвор. Все остальные затворы, подключенные к шинам  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ , образуют вторую секцию, называемую секцией переноса. Третья секция — выходная — состоит из выходного затвора и стока.

Если на входной затвор подать напряжение  $U_{вх} > U_{пар}$  и достаточно большое напряжение на первый затвор секции переноса, то под входным затвором образуется канал n-типа, а под первым затвором секции переноса возникает потенциальная яма. В эту яму из истока по каналу перейдет часть электронов, которые создадут в ней пакет носителей заряда.

В следующем такте снимается напряжение с входного затвора. Проводящий канал между истоком и первой потенциальной ямой исчезает, а оставшийся заряд в потенциальной яме сохраняется. Это равносильно записи в данную ячейку логической единицы. Отсутствие заряда в потенциальной яме будет соответствовать логическому нулю.

Если после записи логической единицы в первую потенциальную яму подать напряжение на второй затвор секции переноса  $U_2 > U_1$ , то под вторым затвором будет образо-

вана более глубокая потенциальная яма, в которую перейдут электроны из первой потенциальной ямы. Для дальнейшего перемещения электронов в сторону стока напряжение  $U_1$  уменьшают до нуля и подают напряжение на третий затвор  $U_3 > U_2$ . При этом электроны из второй потенциальной ямы перейдут в третью, образованную под этим затвором. Таким образом, коммутируя различные по значениям напряжения  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ , можно осуществить передвижение пакета неосновных носителей заряда от истока к стоку.

После переноса заряда в потенциальную яму под девятым затвором секции переноса подается напряжение на выходной затвор  $U_{\text{вых}} > U_{\text{пор}}$ . Между стоком и последней потенциальной ямой образуется канал *n-типа*, по которому электроны из потенциальной ямы начнут переходить в область стока, образуя в цепи стока электрический ток. Если же в потенциальную яму был записан логический нуль, то ток в цепи стока не появится или будет очень мал.

Максимальное время хранения зарядового пакета в потенциальной яме составляет  $2 \cdot 10^{-12}$  с. Поэтому ПЗС могут работать только в нестационарном состоянии потенциальных ям. Для управления работой устройств на ПЗС необходимы генераторы, формирующие синхронизированные между собой периодические последовательности тактовых импульсов. Интервал рабочих частот устройств на ПЗС ограничен сверху и снизу. Верхняя частота определяется потерями заряда при его продвижении между потенциальными ямами, а нижняя — процессами термогенерации, приводящими к накоплению в потенциальных ямах паразитных зарядов. Поэтому при проектировании запоминающих устройств на ПЗС должны быть предусмотрены элементы регенерации и специальные режимы работы, осуществляющие восстановление хранимой информации.

**Запоминающие устройства на цилиндрических магнитных доменах.** ЦМД представляют собой малые области, созданные в магнитных пленках. Намагниченность этих областей противоположна намагниченности пленки (рис. 13.36). Размеры ЦМД могут быть от единиц до десятков микрон. Энергия ЦМД тем меньше, чем меньше магнитное поле, поэтому они стремятся перейти из области сильных магнитных полей в область более слабых полей, называемых магнитными энергетическими ямами. На этом свойстве основано управление движением ЦМД. Измене-

ние магнитного поля в пленке, т. е. перемещение магнитных ям, осуществляется при помощи специального вращающегося магнитного поля.

Память, созданная на основе ЦМД, обладает высоким быстродействием (время цикла

обладает высоким быстродействием (время цикла считывания  $5 \cdot 10^{-7}$  с,  $10^{-7}$  с, записи  $1,5 \times 10^{-4}$  с) и стойкостью к радиации. ЦМД позволяет осуществлять многократную переза-

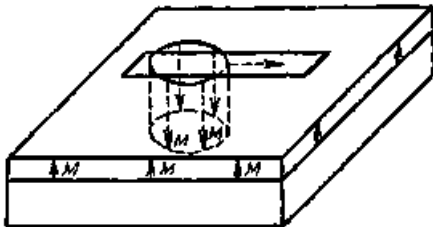


Рис. 13.36. Запоминающий элемент на ЦМД

пись информации, а записанная информация сохраняется и при отключении источников питания.