

т. е. $n_{\omega} = n_{2\omega}$. Этого равенства можно добиться, если увеличение эфф. показателя преломления моды m , к-рое возникает на частоте 2ω вследствие волноводной дисперсии, компенсировать, сменив порядок моды или её тип (показатель преломления уменьшается с увеличением порядка моды). Необходимость выполнения условия $n_{\omega} = n_{2\omega}$ накладывает очень строгие ограничения на допустимые отклонения толщины волновода от оптимальной для условий синхронизма. Напр., для плёнки ZnS толщиной 0,314 мкм, выращенной на подложке ZnO, отклонение Δh составляет всего $\sim 0,006$ мкм (2%).

Технология И. о. Наиб. важным является получение волноводных слоёв и формирование требуемой геом. конфигурации планарных элементов. Первая задача решается либо нанесением на подложку плёнок из др. материала, либо увеличением показателя преломления приповерхностных слоёв подложки путём радиац., хим., термич. и др. воздействий. Для нанесения плёнок используются методы термич. и катодного распыления. При создании монокристаллич. слоёв применяются разл. способы эпитаксиального выращивания. Повысить показатель преломления приповерхностного слоя, в т. ч. и в кристаллах, можно за счёт ионообменной диффузии, электродиффузии, имплантации ионов (см. *Ионная имплантация*) и т. д. Широко распространены методы получения волноводов путём *термодиффузии* из напылённой на подложку металл. плёнки.

Для формирования требуемой конфигурации отд. планарных элементов и составленных из них оптич. интегральных узлов применяется гл. обр. фотолитография. Для создания монокристаллич. схем И. о. используются полупроводниковые соединения АШВ и твёрдые растворы на их основе. Монокристаллы диэлектриков, так же как и шпобат и танталит лития, широко используются для изготовления разл. типов интегрально-оптических модуляторов, дефлекторов, переключателей, акустооптич. устройств обработки информации и т. д.

Лит.: Золотов Е. М., Киселев В. А., Сычугов В. А., Оптические явления в тонкопленочных волноводах, «УФН», 1974, т. 112, с. 231; Гончаренко А. М., Редько В. П., Введение в интегральную оптику, Минск, 1975; Введение в интегральную оптику, пер. с англ., М., 1977; Дерюгин Л. Н., Интегральная оптика, М., 1978; Интегральная оптика, пер. с англ., М., 1978; Хэнсфорд Р., Интегральная оптика. Теория и технология, пер. с англ., М., 1985; Свечников Г. С., Элементы интегральной оптики, М., 1987. *Е. М. Золотов.*

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА — твердотельное устройство, содержащее группу приборов и их соединения (связи), выполненное на единой пластине (подложке). В И. с. интегрируются пассивные элементы (ёмкости, сопротивления) и активные элементы, действие к-рых основано на разл. физ. явлениях. Внутр. связи И. с. преобразуют множество приборов в функциональное устройство для целей информатики, преобразования разл. видов энергии и робототехники. Создание первых полупроводниковых И. с. (1958—59) и начало их серийного выпуска (1960—61) определили рождение *микрoэлектроники*.

Поскольку важнейшие И. с. формируются на монокристаллич. подложке, то электронное взаимодействие плотно упакованных микроприборов приводит к новым физ. явлениям. Развитие технологии И. с. позволило создать такие устройства, в к-рых электронное взаимодействие охватывает группы транзисторов (интегральная инжекционная логика); приборы с зарядовой связью (ПЗС), где осуществляется передача эл.-статич. заряда в цепях из тысяч МДП-элементов (см. *МДП-структура*); приборы на *цилиндрических магнитных доменах*, где осуществляется передача «магн. заряда», и т. д.

Типы И. с. Важнейшие И. с. — полупроводниковые, а среди них — кремниевые. Физ. и хим. свойства Si, его оксида и нитрида, а также разл. форм аморфного (см. *Аморфные и стеклообразные полупроводники*) и поликристаллич. Si создают оптимальную основу для интегральной технологии. Простота хим. состава обес-

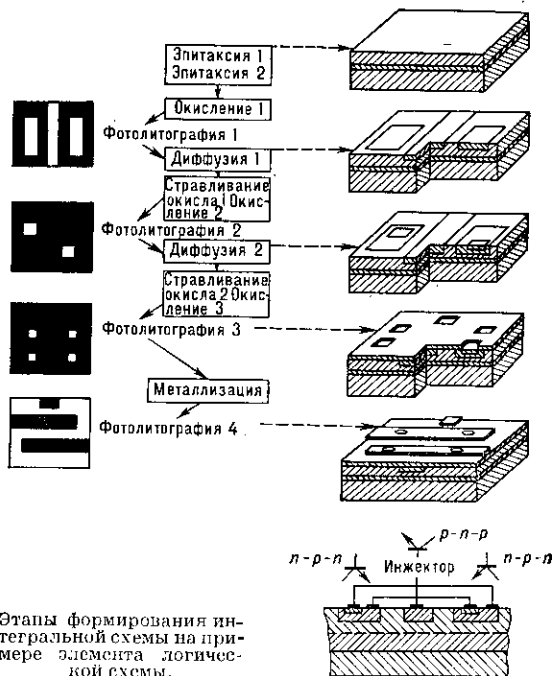
печивает стабильность и надёжность основанных на нём устройств. Свойства Si позволяют создавать разл. датчики, исполнительные микромеханизмы и др. неэлектронные устройства с электронными информационно-управляющими системами.

Кроме Si полупроводниковые И. с. изготавливаются из GaAs и нек-рых др. полупроводников. Это повышает быстродействие И. с. (более высокая подвижность носителей заряда) и дополняет кремниевую электронику оптоэлектронными, в т. ч. лазерными, системами (см. *Оптоэлектроника*).

И. с. на переходах Джозефсона (см. *Джозефсона эффект*) позволяют создавать устройства, потребляющие мин. количество энергии на единицу перерабатываемой информации. Благодаря этому элементы могут быть более плотно упакованы, сокращается длина связей между ними, повышается быстродействие устройства. И. с. на пьезоэлектрич. кристаллах (см. *Поверхностные акустические волны*) обеспечивают возможность параллельной быстрой обработки и преобразования нек-рых видов сигналов. Однако ни один из перечисл. видов интегральных устройств не обладает универсальностью кремневых И. с.

И. с. интегрирует в одном кристалле не только множество идентичных приборов, но и приборы, действие к-рых основано на разл. принципах. Напр., И. с. для цифровой обработки данных могут содержать полевые и биполярные транзисторы, И. с. для управления различными объектами или анализа сигналов могут объединить электронные, оптоэлектронные, электромеханические, магнитные и др. микроприборы.

Планарная технология. Полупроводниковые И. с. формируются средствами планарной технологии. В математике «планарность» означает геометрич. образ, к-рый можно нарисовать на плоскости без пересечения линий. Центр. идея планарной технологии состоит в том, что проект И. с. представляется в виде комплекта



Этапы формирования интегральной схемы на примере элемента логической схемы.

рисунков, к-рые затем последовательно «переводятся» в кристалл с помощью различных физ.-хим. процессов (выращивание тонких плёнок металлов и полупроводников, их травление, введение легирующих примесей и т. п.). Планарная технология включает спец. методы проектирования И. с. в виде комплекта плоских рисунков, *микрoлитографию*, к-рая позволяет осуществить