

**Содержательный
модуль 4**



"Электротехнические материалы"

Лекция 11

**Полупроводниковые
материалы**

Lec_11_el_mat_1MM_LNA_16-04-2015

Доцент Лалазарова Н.А.

Содержание

✦ 11.1. Полупроводниковые химические соединения

✦ 11.2. Многофазные полупроводниковые материалы

✦ 11.3. Полупроводниковые интегральные микросхемы

✦ Задания для самостоятельной работы



11.1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Карбид кремния SiC является наиболее важным для техники представителем группы соединений A^4B^4 .

В состав карбида кремния входит 70% кремния и 30% углерода. По твердости немного уступает алмазу, имеет очень высокую жаростойкость и химическую стойкость.



Карбид кремния применяют для изготовления мощных выпрямительных диодов, высокотемпературных тензорезисторов, счетчиков частиц высокой энергии, полевых транзисторов, СВЧ – диодов, термисторов, вентильных разрядников, защищающих линии электропередач от перенапряжения.

Карбид кремния применяется для изготовления полупроводниковых выпрямителей, рабочая температура которых достигает 500°C .

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Арсенид галлия (GaAs) – соединение галлия и мышьяка относится к классу соединений $A^{III}B^{V}$. Благодаря удачному сочетанию свойств занимает второе место (после кремния) по своему значению в современной электронной технике.

Арсенид галлия имеет неплохие теплофизические характеристики, достаточно большую ширину запрещённой зоны ($\Delta E=1,43\text{эВ}$), высокую подвижность электронов (намного выше, чем у кремния).



Приборы из GaAs по частотному пределу превосходят германиевые, а по максимальной рабочей температуре (до $450\text{-}500^{\circ}\text{C}$) – не уступают кремниевым.

Изготавливаемые из **GaAs** интегральные схемы обеспечивают в несколько раз большее быстродействие, чем кремниевые (за счёт большой подвижности носителей заряда), но пока они дороже.



	Цвет	длина волны (нм)	Напряжение (В)	Материал полупроводника
	Инфракрасный	$\lambda > 760$	$\Delta U < 1.9$	Арсенид галлия (GaAs) Алюминия галлия арсенид (AlGaAs)
	Красный	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta U < 2.03$	Алюминия-галлия арсенид (AlGaAs) Галлия арсенид-фосфид (GaAsP) Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP) Галлия(III) фосфид (GaP)
	Оранжевый	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta U < 2.10$	Галлия фосфид-арсенид (GaAsP) Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP) Галлия(III) фосфид (GaP)
	Жёлтый	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta U < 2.18$	Галлия арсенид-фосфид (GaAsP) Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP) Галлия(III) фосфид (GaP)
	Зелёный	$500 < \lambda < 570$	$1.9^{[7]} < \Delta U < 4.0$	Индия-галлия нитрид (InGaN) / Галлия(III) нитрид (GaN) Галлия(III) фосфид (GaP) Алюминия-галлия-индия фосфид (AlGaInP) Алюминия-галлия фосфид (AlGaP)
	Синий	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta U < 3.7$	Селенид цинка (ZnSe) Индия-галлия нитрид (InGaN) Карбид кремния (SiC) в качестве субстрата Кремний (Si) в качестве субстрата — (в разработке)
	Фиолетовый	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta U < 4.0$	Индия-галлия нитрид (InGaN)
	Пурпурный	Смесь нескольких спектров	$2.48 < \Delta U < 3.7$	Двойной: синий/красный диод, синий с красным люминофором, или белый с пурпурным пластиком
	Ультрафиолетовый	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta U < 4.4$	Алмаз (235 нм) ^[8] Нитрид бора (215 нм) ^{[9][10]} Нитрид алюминия (AlN) (210 нм) ^[11] Нитрид алюминия-галлия (AlGaN) Нитрид алюминия-галлия-индия (AlGaInN) — (менее 210 нм) ^[12]
	Белый	Широкий спектр	$\Delta U \approx 3.5$	Бирюзовый / ультрафиолетовый диод с люминофором



СВЕТОДИДЫ



Светодиод с
пластиковой
оболочкой-
корпусом.



Светодиодный
фонарь
(панель) для
сценического
направленного
освещения.



Современный
люминофорный
светодиод в
ручном
электрическом
фонаре.



Современные
мощные
сверхяркие
светодиоды на
теплоотводящей
пластине с
контактами для
монтажа.



Светодиоды в
автомобиле



Подсветка щитка



Светодиоды в автомобиле



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Антимонид индия (InSb) получают сплавлением высокочистых индия и сурьмы. Температура плавления InSb $T_{пл} = 523^{\circ}\text{C}$.

Антимонид индия отличается очень высокой подвижностью электронов ($10 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$).



Фоторезисторы



Туннельные диоды

Вследствие малой ширины запрещенной зоны ($0,18 \text{ эВ}$) при комнатной температуре электропроводность его становится не примесной, а собственной.

Антимонид индия применяется для изготовления туннельных диодов. По сравнению с германиевыми, диоды из антимонида индия обладают лучшими частотными свойствами при низких температурах. Антимонид индия используют для изготовления фотоэлементов высокой чувствительности, датчиков Холла, оптических фильтров и термоэлектрических генераторов и холодильников, для создания детекторов инфракрасного излучения (фотодиодов, фоторезисторов).



ФОТОРЕЗИСТОРЫ

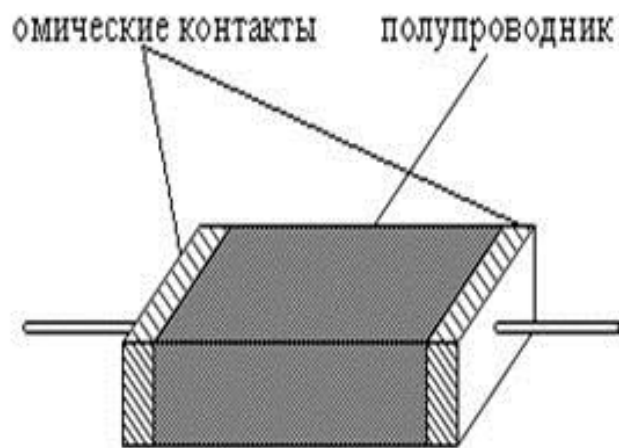
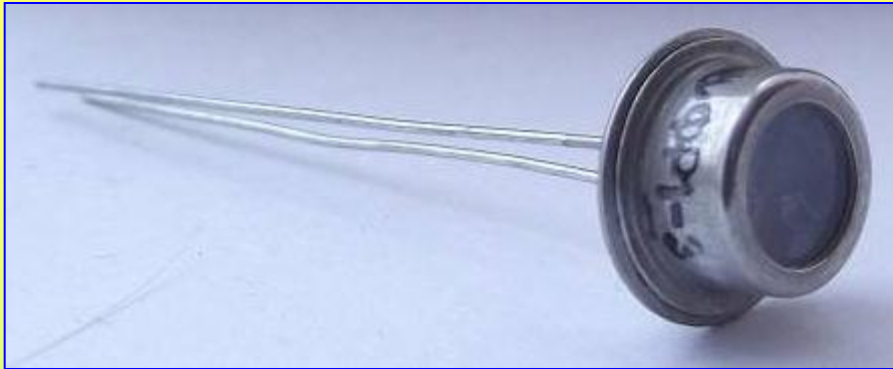


Рис. 1.

Монокристаллический фоторезистор

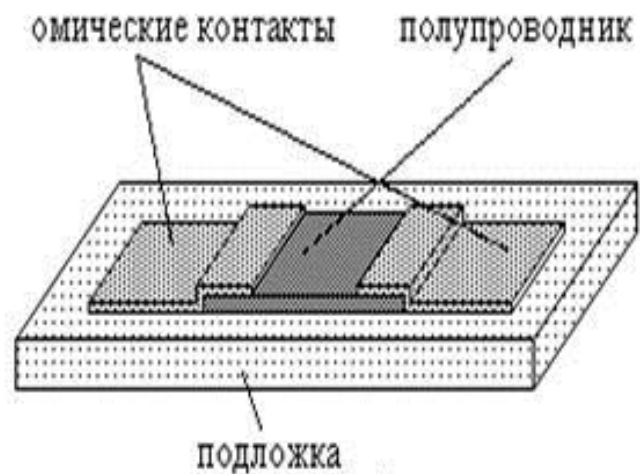


Рис. 2.

Пленочный фоторезистор



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Большую группу полупроводниковых материалов составляют бинарные, или двойные, соединения **халькогенов** (серы, селена, теллура) с металлами всех групп периодической системы элементов.

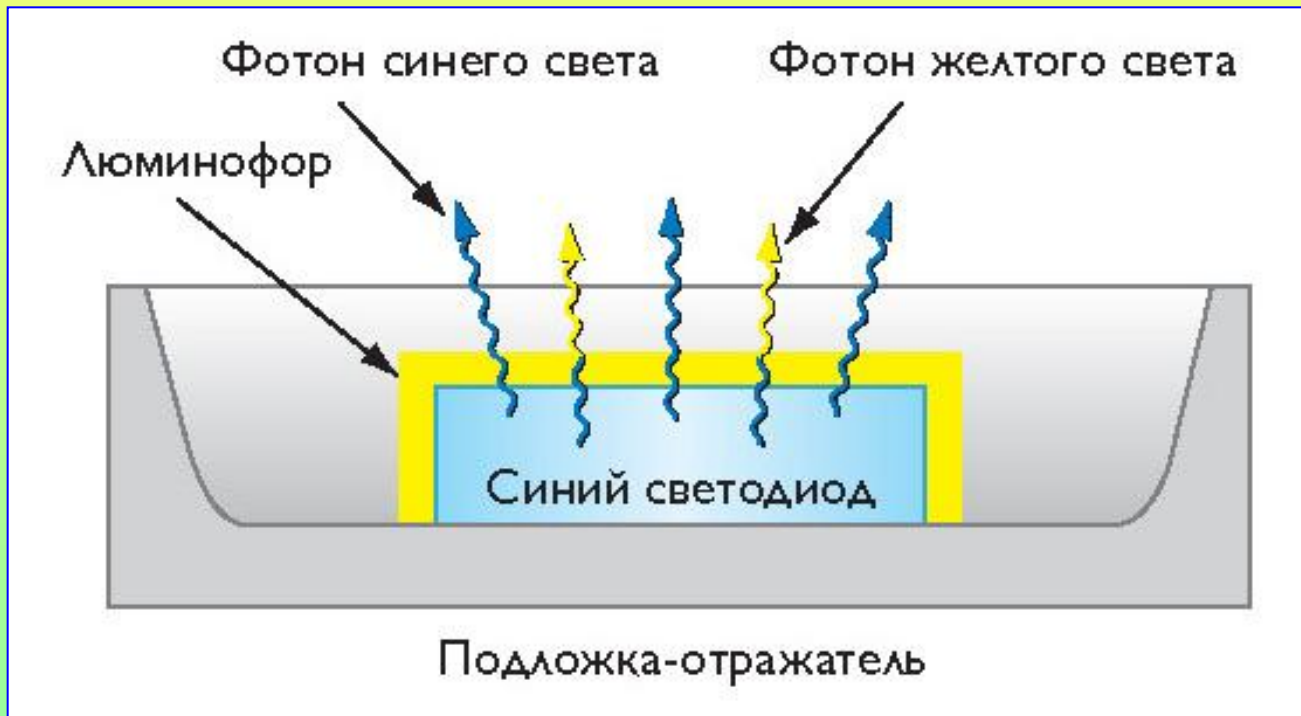
Материалы группы $A^{II}B^{VI}$ представляют собой химические соединения халькогенов с металлами второй группы – цинком, кадмием, ртутью. Кристаллизуются в структурах двух типов: кубической, образующейся при низких температурах, и гексагональной.



К этим соединениям относятся:
халькогениды цинка – ZnS , халькогениды кадмия – CdS , селенид цинка – $ZnSe$, теллурид цинка – $ZnTe$ и др.

Все эти материалы обладают высокой чувствительностью к излучению в различных частях спектра – от инфракрасного до рентгеновского. Их используют в качестве **люминофоров** для всех видов люминесценции и материалов для **фоторезисторов**.





**Полупроводниковые химические соединения
применяю в качестве люминофоров**



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Халькогениды цинка. Сульфид цинка в виде кристаллического порошка широко используется для изготовления люминофоров различных приборов: осциллографических и телевизионных ЭЛТ, люминесцентных осветительных и цифровых ламп и др.

Монокристаллы ZnS используют в качестве оптического материала, прозрачного в инфракрасной области спектра, для создания лазеров с длиной волны $\lambda = 0,32$ мкм, а также для пьезоусилителей акустических колебаний.



Беспилотник
с фотоэлементами



Счётчик частиц

Халькогениды кадмия. Являются основными материалами для фоторезисторов и фотоэлементов. Это прежде всего сульфид кадмия – CdS.



Используют в качестве люминофора, для изготовления дозиметров ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-лучей, счетчиков частиц и т.д.



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Типичными полупроводниковыми соединениями типа $A^{IV}B^{VI}$ являются **халькогениды свинца**: сульфид свинца – PbS, селенид свинца – PbSe и теллурид свинца – PbTe.

Монокристаллы типа $A^{IV}B^{VI}$ получают направленной кристаллизацией и вытягиванием из расплава по методу Чохральского из-под слоя флюса.



Фоторезисторы

Акцепторными примесями в халькогенидах свинца являются металлы первой группы (Ag, K, Na, Cu), замещающие атомы свинца. Обладают фоторезистивными свойствами.

Теллурид свинца, обладающий высоким коэффициентом термо-э.д.с. и малой теплопроводностью, является эффективным материалом для создания полупроводниковых термоэлементов, работающих при температурах 300-700°C.



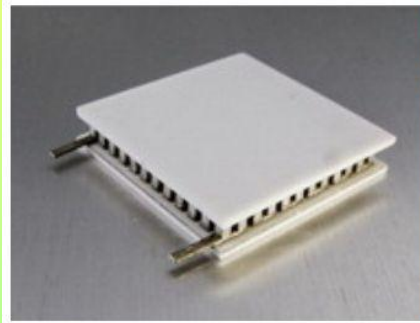
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ, КОНДИЦИОНЕРЫ



Охлаждение достигается за счёт использования полупроводниковых термоэлементов



Теплоэлектрогенераторы



Для термоэлектродгенераторов используются полупроводниковые термоэлектрические материалы, обеспечивающие наиболее высокий коэффициент преобразования тепла в электричество. Электродвижущая сила возникает из-за устойчивой разности температур полупроводниковых контактов, изготовленных из двух разнородных материалов. Таким образом, одна сторона должна быть горячей, а другая – холодной.



Контрольные вопросы

1. Назовите область применения карбида кремния.

2. Назовите область применения арсенида галлия.

3. Где используют антимонид индия?

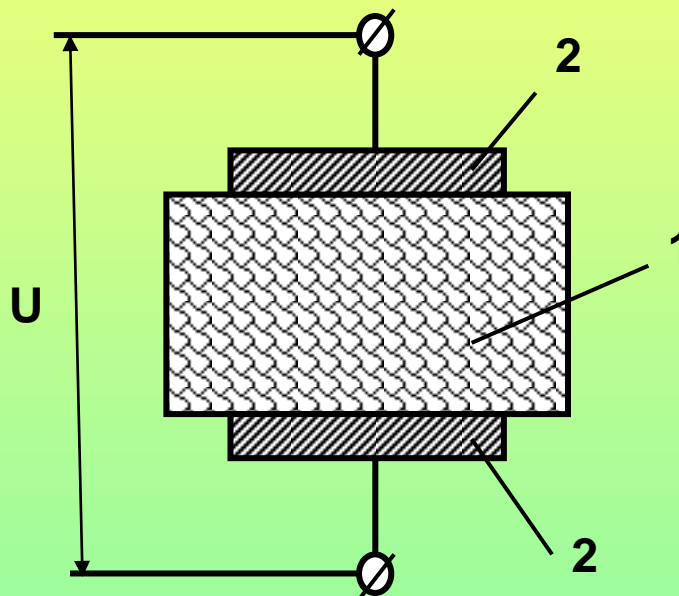


11.2. МНОГОФАЗНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Полупроводниковые комплексы — многофазные материалы с полупроводящей или проводящей фазами, например из карбида кремния, графита и т.д., сцепленных глинистой, стеклянной или другой связкой. Известны также полупроводники органические стеклообразные и жидкие.

Многофазные материалы для **варисторов** состоят из порошкообразного карбида кремния, скрепленного связующим материалом.

Варисторы - нелинейные полупроводниковые резисторы, имеющие нелинейную зависимость $I=f(U)$.



Варисторы применяют:
1) для стабилизации токов и напряжения,
2) защиты схем от перенапряжения,
3) регулирования и преобразования сигналов.

Разрез варистора: 1 - диск из зёрен порошкообразного карбида кремния, скрепленного связующим веществом: глиной, жидким стеклом, ультрафарфоровой массой и др. ; 2 - электроды

ВАРИСТОРЫ



Варисторы для защиты бытовой электроники обычно выпускаются в виде диска с двумя выводами.



Варисторы обладают крайне полезным для электрических цепей качеством. Они способны резко менять своё сопротивление при превышении напряжением определённого порога срабатывания.

В случае возникновения импульса напряжения способного вывести из строя электронное устройство, варистор практически мгновенно изменяет своё сопротивление от сотен МОм до десятков Ом, то есть закорачивает цепь питания, поэтому перед варистором всегда ставится обычный плавкий предохранитель.



Варистор блочного типа



Контрольные вопросы

1. Что входит в состав многофазных полупроводниковых материалов?

2. Что такое варисторы?

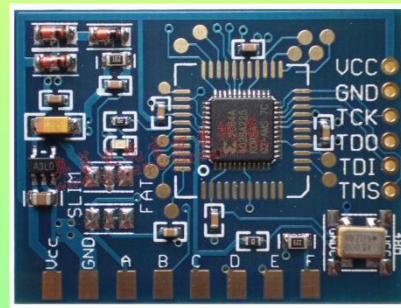
3. Где используют варисторы?



11.3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Полупроводниковые интегральные микросхемы (ИМС) изготавливают на одном кристалле введением легирующих примесей в определенные микрообласти.

Основой полупроводниковых интегральных микросхем чаще всего служит кремний. На одной пластинке кремния диаметром 75 мм и толщиной 0,2 мм можно сформировать до 10000 полупроводниковых ИМС.



ИМС

ИМС в отполированной пластине кремния изготавливают групповым методом: тысячи одинаковых схем формируют одновременно. Затем в пластине алмазным резцом делают насечки по границам схем и разламывают ее на кристаллики. Полученные заготовки снабжают внешними выводами, герметизируют, помещают в корпуса и оформляют в виде серийных электронных приборов.

Групповая обработка обеспечивает высокую стандартизацию и экономичность производства. Возможность серийного производства ИМС была подготовлена созданием и совершенствованием **планарно-эпитаксиальной технологии.**

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Планарная технология — совокупность технологических операций, используемая при изготовлении планарных (плоских, поверхностных) полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Полупроводниковые микросхемы, изготавливаемые по планарной технологии, формируются в тонком приповерхностном слое кристалла, образуя плоские конфигурации.

Основу планарной технологии составляют процессы: окисление кремневой подложки с целью защиты ее поверхности пленкой двуокиси кремния



(иногда в качестве защитной пленки используют другой диэлектрик, например нитрид кремния Si_3N_4); превращение защитной пленки в маску заданной конфигурации с помощью фотолитографии; диффузия легирующих примесей в верхний слой подложки через окна в маске.

Планарная технология позволяет получать в подложке или в эпитаксиальном слое легированные области, измеряемые единицами микрометров.

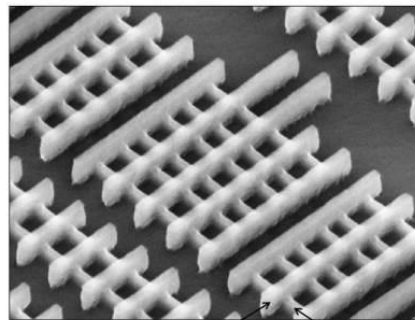


МИКРОСХЕМЫ С ТРАНЗИСТОРАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ПО ТЕХНОЛОГИИ Tri-Gate (трёхмерные)

Вместо современной планарной структуры микрочипов в настоящее время начинают использовать транзисторы с трехмерной структурой. В компании Intel впервые разработан механизм создания интегральных микросхем на базе трехмерных элементов. Новый подход к конструированию элементарной ячейки микросхем позволит изготавливать более миниатюрные и экономичные чипы.

Техпроцесс изготовления трёхмерных транзисторов Tri-Gate совместим с планарными технологиями.

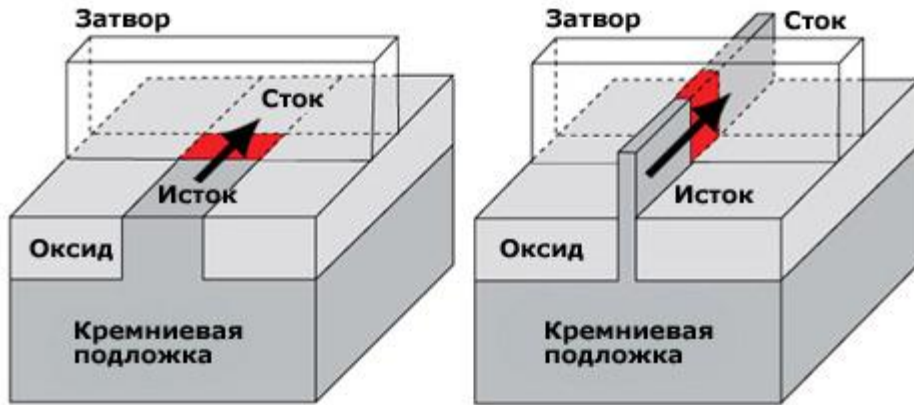
22 nm Tri-Gate Transistor



Транзисторы рационально изготавливать из системы индий-галлий-мышьяк, что позволит уменьшить размеры интегральной микросхемы до 14нм.

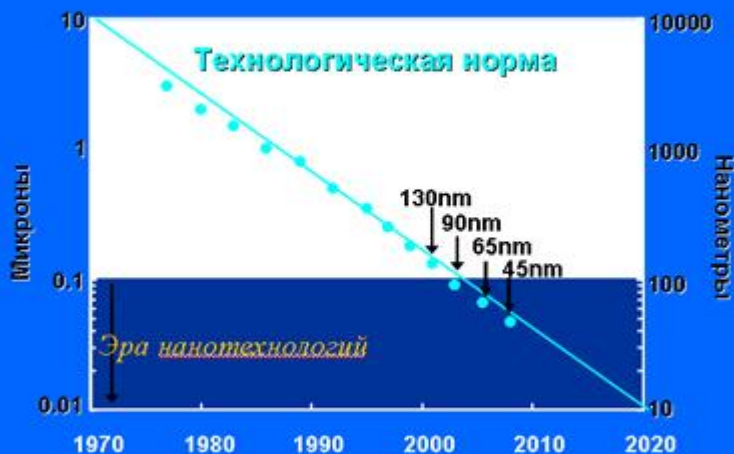
Новая компоновка уменьшает размер транзистора и позволяет смонтировать больше элементов на каждом квадратном миллиметре микросхемы. Также трёхмерная технология производства транзисторов позволяет создавать микросхемы, которые работают на более низком напряжении и с меньшими токами утечки, что означает повышение производительности и энергоэффективности транзисторов. 3D-транзисторы быстрее переключаются.

МИКРОСХЕМЫ С ТРАНЗИСТОРАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ПО ТЕХНОЛОГИИ Tri-Gate (трёхмерные)



В процессе разработки микропроцессоров, содержащих один миллиард транзисторов, удалось уменьшить величину транзисторов до такой степени, что теперь на булавочной головке могут разместиться 200 млн таких элементов. Современные транзисторы производства корпорации Intel открываются и закрываются со скоростью полтора триллиона раз в секунду. Чтобы включить и выключить электрический выключатель полтора триллиона раз, человеку потребовалось бы 25 тысяч лет.

Динамика уменьшения топологических размеров



МИКРОСХЕМЫ С ТРАНЗИСТОРАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ПО ТЕХНОЛОГИИ Tri-Gate (трёхмерные)



Видеокарта (микросхема) Club3D Radeon HD4830 512MB. Количество транзисторов в каждом GPU равно 956 млн. штук. Графические процессоры производятся по 55 нм технологии. Площадь RV770 равна 256 мм² (55 нм RV670 - 190 мм²).



Контрольные вопросы

1. Что такое планарная технология изготовления ИМС?

2. Что такое трёхмерная технология производства транзисторов?



Задания для самостоятельной работы

1. Изучить применение антимонида индия.

2. Ознакомиться с устройством варисторов и материалами, из которых они изготавливаются.

3. Изучить полупроводниковые химические соединения на основе оксидов, теллуридов, сульфидов.

4. Сравнить микросхемы, которые получают по планарной и с транзисторами Tri-Gate.

5. Ознакомиться с нанотехнологиями, применяемыми при изготовлении полупроводниковых приборов.





Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92

