

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Уласик А.С.

Научный руководитель – Жиров Г.И., к.ф.-м.н, ст. преподаватель.

Физика полупроводников имеет большое значение в современном мире. Исследования проводимости различных материалов начали проводиться в XIX веке. Изучение свойств полупроводников началось, когда возникла потребность в новых источниках энергии. На основе полупроводников были созданы новые приборы: термоэлектродгенераторы, сегнетоэлектрические и фотоэлектрические приборы. Полупроводники имеют большую область применения. Помимо радиотехники на основе полупроводников разработаны фотоэлементы, фотодиоды, интегральные схемы. Это все привело к появлению новых ЭВМ и ПК.

Стандартная технология производства

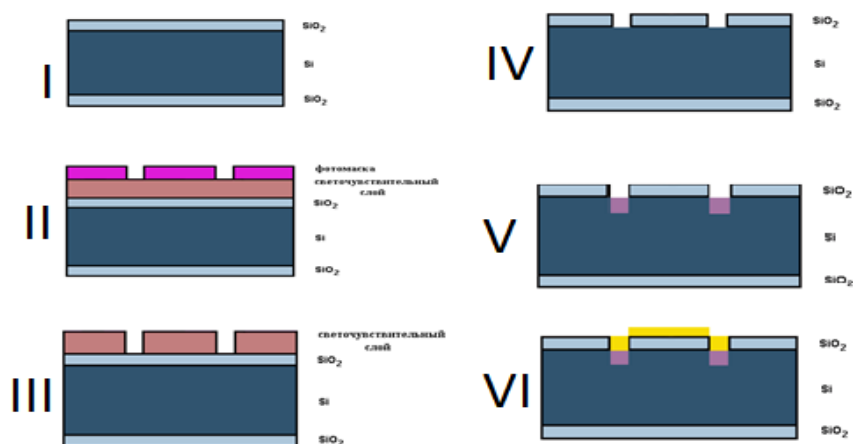


Рисунок 1. Стандартная технология производства полупроводников

Первый шаг процесс окисления кремневой пластины, покрытия ее пленкой окислов - SiO₂, являющейся прекрасным изолятором и защитой поверхности пластины при литографии. Далее на пластину наносится еще один защитный слой, на этот раз - светочувствительный, и происходит одна из ключевых операций - удаление в определенных местах ненужных участков его и пленки окислов с поверхности пластины, до обнажения чистого кремния, с помощью фотолитографии.

На первом этапе пластину с нанесённой на её поверхность плёнкой светочувствительного слоя помещают в установку экспонирования. По специальным знакам, заранее сформированным на поверхности пластины, установка автоматически выравнивает пластину, настраивает фокус и засвечивает светочувствительный слой через маску и систему линз с

уменьшением так, что на пластине получается изображение кристалла в масштабе 1:1. Сама маска тоже формируется фотохимическим способом, только засвечивание светочувствительного слоя при формировании маски происходит по программе электронным лучом примерно также, как в телевизионном кинескопе.

В результате засвечивания химический состав тех участков светочувствительного слоя, которые попали под прозрачные области фотомаски, меняется. Что дает возможность удалить их с помощью соответствующих химикатов или других методов, вроде плазмы или рентгеновских лучей [4].

После чего аналогичной процедуре подвергается и слой окислов на поверхности пластины. И снова, опять же, уже новыми химикатами, снимается светочувствительный слой:

Затем накладывается следующая маска, уже с другим шаблоном, потом еще одна, еще, и еще... Именно этот этап производства чипа является критическим в плане ошибок: любая пылинка или микроскопический сдвиг в сторону при наложении очередной маски, и чип уже может отправиться на свалку. После того, как сформирована структура чипа, пришло время для изменения атомной структуры кремния в необходимых участках путем добавления различных примесей. Это требуется для того, чтобы получить области кремния с различными электрическими свойствами - р-типа и п-типа, то есть, как раз то, что требуется для создания транзистора. Для формирования р-областей используются бор, галлий, алюминий, для создания п-областей - сурьма, мышьяк, фосфор.

Поверхность пластины тщательно очищается, чтобы вместе с примесями в кремний не попали лишние вещества, после чего она попадает в камеру для высокотемпературной обработки и на нее, в том или ином агрегатном состоянии, с использованием ионизации или без, наносится небольшое количество требуемых примесей. После чего, при температуре порядка от 700 до 1400 градусов, происходит процесс диффузии, проникновения требуемых элементов в кремний на его открытых в процессе литографии участках. В результате на поверхности пластины получаются участки с нужными свойствами. И в конце этого этапа на их поверхность наносится все та же защитная пленка из окисла кремния, толщиной порядка одного микрона.

Все. Осталось только проложить по поверхности чипа металлические соединения (сегодня для этой роли обычно используется алюминий, а соединения сегодня обычно расположены в 6 слоев), и ИМС готова (рисунок 1). В общих чертах, так в результате и получается, к примеру, классический МОП транзистор: при наличии напряжения на затворе начинается перемещение электронов между измененными областями кремния[6].

Развитие технологии полупроводников в мире

Известно, что поиск новых материалов активно ведут все гиганты полупроводниковой промышленности, включая Texas Instruments, IBM и Motorola. Кто найдет замену диоксиду кремния, тот и станет новым технологическим лидером в многомиллиардной индустрии производства микросхем.

Корпорация Intel заявляет, что ни одному из вышеперечисленных "грандов" полупроводниковой промышленности не удалось продвинуться в своих исследованиях так далеко, как ей. Благодаря последним (пока засекреченным) разработкам можно говорить о том, что закон Мура будет действовать долго. Такой вывод позволяют сделать опубликованные технологические планы компании (см. таблицу).

Процесс	P856	P858	Px60	P1262	P1264	P1266	P1268	P1270
Ввод производство	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011
Техпроцесс	0,25 мкм	0,18 мкм	0,13 мкм	90 нм	65 нм	45 нм	32 нм	22 нм
Диаметр пластины (мм)	200	200	200/300	300	300	300	300	300
Соединения	Al	Al	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	?
Канал	Si	Si	Si	раст. Si	раст. Si	раст. Si	раст. Si	раст. Si
Диэлектрик затвора	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	High-k (C	High-k	High-k
Материал затвора	Поликр. кремний	Поликр. кремний	Поликр. кремний	Поликр. кремний	Поликр. кремний	Металл (C	Металл	Металл

Пластины 300 мм

Сейчас в полупроводниковой промышленности заканчивается одна из тех революций, которые случаются раз в десятилетие и полностью меняют облик индустрии. Изготовители микросхем переходят от подложек (wafers), т.е. кремниевых дисков-полуфабрикатов, диаметром 200 мм к подложкам 300 мм. Это позволит заметно удешевить чипы и увеличить объемы производства. Площадь пластины увеличивается более чем в два раза (на 125%), полезный выход кристаллов увеличивается на 140%, а себестоимость каждой микросхемы снижается примерно на 30%. При этом в процессе производства резко уменьшается общее потребление ресурсов: на 40% снижается потребление электроэнергии и воды в пересчете на одну микросхему[2]. Гиганты полупроводниковой промышленности экспериментируют с новыми технологиями и материалами для хотя бы незначительного увеличения эффективности работы транзисторов. Так, специалистам Intel удалось найти подходящие материалы, которые меняют

кристаллическую структуру кремния в нужных местах транзистора, что облегчает протекание тока.

Инженеры подразделения Logic Technology Development Division разработали два независимых способа "растяжения" кремния для КМОП-транзисторов n-типа и p-типа. В устройствах n-типа поверх транзистора в направлении движения электрического тока наносится слой нитрида кремния (Si₃N₄), что "растягивает" кристаллическую решетку и увеличивает рабочий ток канала на 10%. В устройствах p-типа слой SiGe наносится в зоне образования переносчиков тока, то есть в материале подложки, здесь кристаллическая решетка "сжимается", и рабочий ток канала увеличивается на 25%.

Фирма Intel заменила тонкий слой диоксида кремния более толстым слоем совершенно нового диэлектрика с высоким диэлектрическим коэффициентом (так называемый "high-k"), что позволит существенно (примерно в 100 раз) снизить токи утечки.

Материал на основе технологии "high-k" обладает хорошими изолирующими свойствами, а также создает хорошее емкостное сопротивление между затвором и каналом. Буква "k" (греческая буква "каппа") указывает на способность материала "впитывать" и сохранять большой электрический заряд.

Развитие в РБ

Электронную промышленность в Беларуси представляют такие организации, как НПО «Интеграл», Государственный научно-производственный концерн точного машиностроения (ГНПК) «Планар», ПО «Монолит», Минский научно-исследовательский приборостроительный институт (МНИПИ), Минский научно-исследовательский институт радиоматериалов (МНИИРМ) и др.

В настоящее время предприятия электронной отрасли РБ разрабатывают интегральные микросхемы, дискретные полупроводниковые приборы и сборки, гибридные интегральные схемы, устройства СВЧ-техники, микромеханические акселерометры и гироскопы, микроболометры, оптоэлектронные изделия, конденсаторы в корпусном и чип-исполнении, резисторы, в том числе термо- и тензорезисторы, жидкокристаллические устройства отображения информации, биохимические, газовые и высокоселективные акселерометрические датчики, магнитометры, полупроводниковые материалы соединений АЗВ5 и др. Единственное сохранившееся на территории СНГ крупное предприятие электронного машиностроения ГНПК «Планар» выпускает широкий спектр конкурентоспособного уникального спецтехнологического оборудования для изготовления изделий микроэлектроники.

Вывод: развитие производства полупроводников является перспективной областью промышленности. Сейчас трудно назвать область

техники, где не было бы полупроводниковых материалов, используемых в том числе при отсутствии р-п-перехода, например, термосопротивления в температурных датчиках, фотосопротивления в пультах ДУ и другие.

Литература

1 Гаврилов, С. А. Электрохимические процессы в технологии микро- и наноэлектроники / С. А. Гаврилов. - М.: Высшее образование, 2009.

2 Горлов, М.И. Обеспечение и повышение надёжности полупроводниковых изделий в процессе серийного производства / М.И. Горлов, Л.П. Ануфриев. - М.: Бестпринт, 2003.

3 Достанко, А. П. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники / А.П. Достанко, С.В. Бордусов, И.В. Свадковский. - М.: ФУАинформ, 2001.

4 Емельянов, В. А. Эпитаксиальные слои кремния и германия для интегральных микросхем / В. А. Емельянов. - М.: Интегралполиграф, 2008.

5 Камлюк, В. С. Технологическое оборудование для микроэлектроники / В. С. Камлюк. - М.: РИПО, 2014.

6 Турцевич, А. С. Базовые технологические процессы изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем на кремнии / А. С. Турцевич. - М.: Интегралполиграф, 2013.