

Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)

ФАКУЛЬТЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Кафедра №37
«ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА»

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лекция-12



ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

В настоящее время микроэлектроника освоила размеры ИС 90 нм и степень интеграции до 10^7 активных элементов на кристалле. Однако потребности вычислительной техники и автоматики таковы, что для их удовлетворения необходимо освоение размеров 32 нм и в перспективе 13 нм и повышение степени интеграции в 10 раз. При этом движение электронов определяется не классическими, а квантовыми эффектами, включая размерное квантование. Тенденция развития микроэлектроники в направлении повышения степени интеграции, по всей видимости, сохранится и в будущем. Обеспечение такой тенденции за счет уменьшения размеров элементов практически будет исчерпано. Остаются два пути: развитие субсистем по всей пластине и трехмерные ИС. Возможно появление и принципиально новых решений, например в молекулярной электронике, что, правда, пока оценивается весьма проблематично.

Вероятность выхода годных ИС можно оценить по формуле:

$$W = D n S/l^2$$

где D - плотность дефектов, приводящих к отказу; n - число критических операций; S - площадь кристалла; l - минимальный размер элементов.

Классификация лазерных технологических процессов в электронной промышленности.

Условно можно выделить четыре уровня операций с использованием лазерного излучения:

- 1.- уровень подготовительных операций: очистка поверхности, геттерирование, улучшение свойств структуры, изготовление фотошаблонов ИС, нанесение рисунка.
2. - уровень основных операций: импульсный лазерный отжиг (ИЛО) после ионной имплантации, лазерное легирование, окисление, получение силицидов, травление, осаждение тонких пленок.
- 3.- уровень завершающих операций: подгонка, формирование омических контактов, маркировка, приваривание электрических выводов, сварка корпусов ИС.
4. – подготовка и сборка печатных плат: изготовление фотошаблонов печатных плат, нанесение рисунка печатных плат, сверление печатных плат, пайка печатных узлов, лазерный контроль качества паяных соединений.

Уровень подготовительных операций.

1. Очистка поверхности

Для получения чистой и совершенной поверхности уникальные возможности представляет импульсное лазерное облучение, которое обеспечивает стерильность процесса очистки и получения совершенной кристаллической структуры активного поверхностного слоя.

Результаты лазерной очистки поверхности монокристаллов кремния и арсенида галлия с использованием длины волны излучения 1,06 мкм.

Эксперименты проводились в камере оже-спектрометра при остаточном давлении не хуже $4 \cdot 10^{-7}$ Па. Лазерный пучок фокусировали на поверхности образца в пятно диаметром 1-2 мм при изменении плотности энергии в диапазоне 0,5—3 Дж/см². Длительность импульса составляла 15 нс. Лазерный луч сканировали по поверхности полупроводниковой пластины с помощью оптико-механического устройства.

Об изменении элементного состава поверхности свидетельствовало изменение амплитуды оже-пиков кислорода (509 эВ), углерода 272 эВ) и элемента подложки на спектрах с поверхности кремния и арсенида галлия и их отношения к амплитудам пиков основного материала образцов - кремния (92 эВ) и мышьяка (31 эВ).

Уровень подготовительных операций.

1. Очистка поверхности

Зависимость отношений амплитуд пиков C(272 эВ)/Si(92 эВ) и O(509 эВ)/Si(92 эВ) на оже-спектрах, наблюдаемых в процессе облучения кремниевой поверхности лазерным пучком с плотностью энергии 2 Дж/см² от числа световых импульсов n_u , представлена на рис. 3.2,а.

Аналогичные результаты наблюдали и при обработке поверхности кристаллов арсенида галлия импульсами с плотностью энергии 1 Дж/см² (рис. 3.2,б)

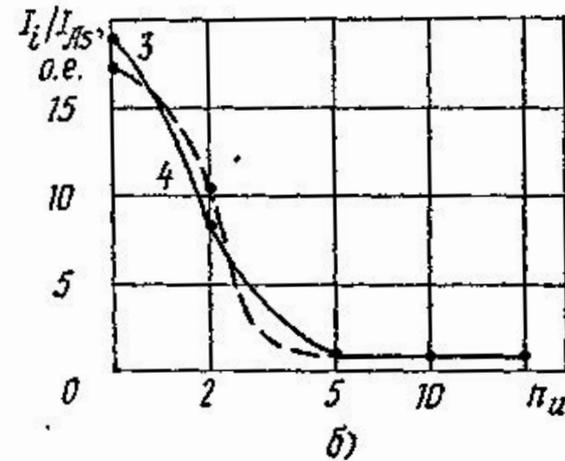
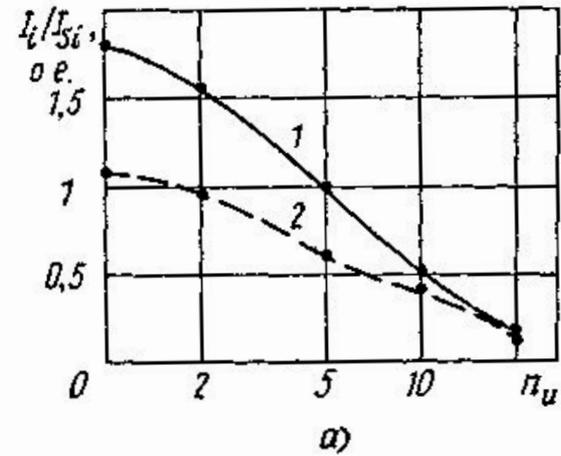


Рис. 3.2

Уровень подготовительных операций.

1. Очистка поверхности

На рис. 3.3 представлена зависимость отношения амплитуды оже-пиков кислорода и углерода поверхности (100) образцов кремния к амплитуде пика кремния от плотности энергии в лазерном пучке при облучении 15 импульсами. По характеру этой зависимости можно судить, что лазерно-стимулированная десорбция углерода и кислорода с поверхности кремния имеет пороговый характер и начинается при 1 Дж/см².

Эффективность очистки постепенно возрастает по мере увеличения плотности энергии в импульсах и ограничивается разрушением поверхности кристалла при средней удельной энергии пучка, превышающей 2,3 Дж/см² для данного распределения ее по сечению.

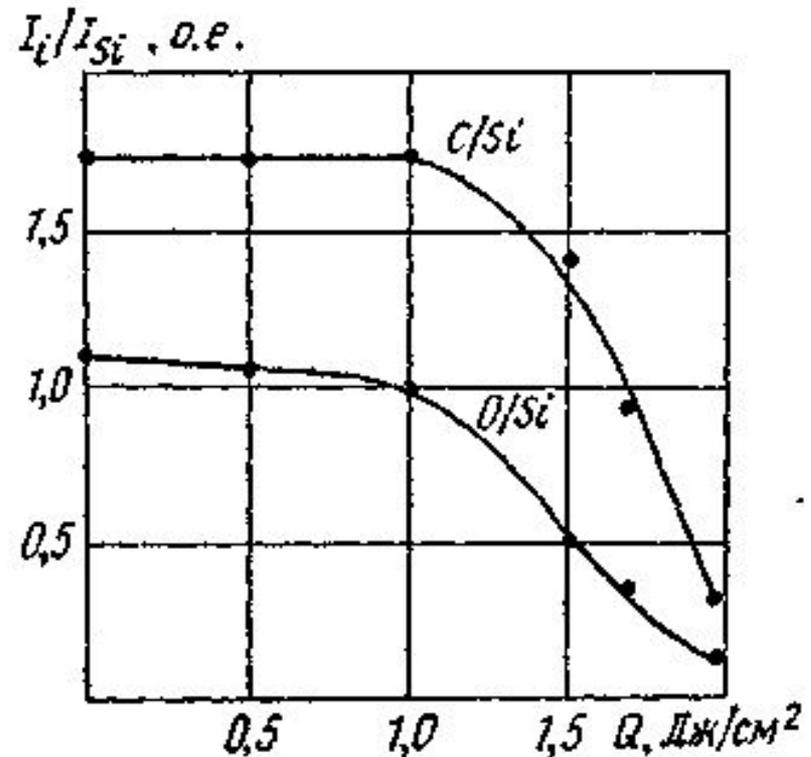


Рис. 3.3

Уровень подготовительных операций.

2. Геттерирование

Эффективным способом устранения вредного влияния фоновых примесей в объеме полупроводникового материала является создание различного рода стоков для точечных дефектов (собственных и примесных), которые оттягивали бы их на себя. Эти способы называют геттерированием, а сами стоки - геттерами («поглотителями»).

При всем разнообразии способов геттерирования в основе своей они имеют создание условий для направленной диффузии неконтролируемых примесей к геттерам, играющим роль стоков. Одной из причин такой направленной диффузии может быть наличие поля упругих напряжений (в макро- или микрообъемах).

Геттеры можно создавать как на рабочей, так и на нерабочей поверхности полупроводниковой пластины, а также вводить их в объем подложки. В одном случае геттерирующий поверхностный слой образуют созданием в нем стоков в виде дислокаций и микротрещин, в другом - геттеры создаются в глубине от рабочей поверхности подложки. Для кремния эффективную роль такого геттера в глубине могут играть выделения кислородсодержащих фаз (преципитатов) и дефекты упаковки.

Уровень подготовительных операций.

3. Окисление

Чаще всего в полупроводниковой электронике в качестве диэлектрических пленок используется диоксид кремния - SiO_2 и нитрид кремния Si_3N_4 . Наиболее важным положительным свойством перечисленных диэлектрических пленок является их термическая стабильность. В настоящее время термическое окисление является основным методом получения аморфных слоев a-SiO_2 на кремнии. Высокая однородность пленок, малая плотность зарядов на границе Si-a-SiO_2 , минимальная опасность трещинообразования составляют преимущества этого способа. К его недостаткам относятся высокая температура процесса, потери кремния, снижение точности воспроизводства топологической структуры схемы при многократном повторении процесса. Кроме того, метод термического окисления непригоден для других полупроводниковых материалов. Высокотемпературное окисление вызывает напряжения, дефекты упаковки и перераспределение примесей в используемых материалах, что ведет к деградации рабочих характеристик выходных устройств.

Уровень подготовительных операций.

3. Окисление

Для получения пленок SiO_2 из окиси кремния SiO используется эксимерный лазер фирмы на ArF ($\lambda=193$ нм, $t=15$ нс, частота 1-5 Гц), обеспечивающий плотность энергии излучения от 40 до 110 мДж/см². Облучение пленок SiO толщиной 1000-5000 Å осуществлялось через прямоугольную маску (0,8x1,5 см), в результате чего формировались пленки SiO_2 .

Существует другой способ окисления, заключающийся в имплантации атомов кислорода в кремний и последующей реакции окисления при отжиге, однако температура отжига такая же высокая, как и при обычном термическом окислении. Для исключения стадии нагрева используется импульсный лазерный отжиг имплантированного кислородом кремния для формирования оксидных слоев SiO_2 . Основные преимущества этого способа - отжиг без значительного нагревания подложки и чрезвычайная быстрота. Образцы кремния p-типа (100) при температуре жидкого азота имплантировались ионами O^+ с энергией 50 кэВ. В результате максимальная концентрация внедренных атомов составляла $\sim 10^{22}$ см⁻³ на глубине 0,1 мкм. Лазерный отжиг проводили импульсами АИГ: Nd - лазера ($t_{\text{и}}=70$ нс, $l=1,06$ мкм, диаметр пятна излучения 3 мм). Плотность энергии излучения составляла 2-2,5 Дж/см². В результате были получены пленки SiO_2 хорошего качества. К преимуществам лазерного окисления можно отнести локальность процесса и значительное увеличение скорости.

Уровень подготовительных операций.

3. Окисление

В целом, можно считать, что наиболее актуальная задача формирования границы раздела «диэлектрик - полупроводник» между функциональными слоями СБИС в случае кремния принципиально решена при использовании в качестве диэлектрика двуокиси кремния SiO_2 .

Совершенно иная ситуация наблюдается для полупроводников группы A_3B_5 . При использовании традиционных диэлектриков, таких, как SiO_2 , Si_3N_4 , SiON , Al_2O_3 , получение воспроизводимых и качественных МДП-структур невозможно. Эта задача была решена с помощью лазерных методов. Так, на поверхности GaAs n-типа при облучении непрерывным АИГ: Nd-лазером в атмосфере кислорода получен собственный оксид Ga_2O_3 . Совершенные методы исследования показали, что при изменении характерных времен нагрева и остывания удается регулировать и воспроизводить толщину слоя Ga_2O_3 на поверхности GaAs.

Для изготовления аналогов МДП-структур на основе гетеропереходов весьма эффективным оказывается метод лазерного осаждения из твердой мишени соединений A_2B_6 на поверхность A_3B_5 , если АИГ: Nd-лазер работает в режиме свободной генерации.

Этим альтернативным методом при температуре подложки 360°C получены структуры InSb-CdTe с минимальной плотностью поверхностных состояний ниже $6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$, с малым встроенным зарядом и безгистерезисными вольт-фарадными характеристиками..