

УДК 681.321

Технологии дамаскирования и двойного дамаскирования в производстве многослойных печатных плат

***Яшков М. П.**, студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: Соловьев В.А., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
shakhnov@iu4.bmstu.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена обзору и анализу самых распространенных технологии металлизации межслойных переходов и, в частности, технологии одиночного и двойного дамаскирования.

Объектом исследования являются технологические процессы одиночного и двойного дамаскирования.

Актуальность работы определяется необходимостью разработки и внедрения эффективных технологий металлизации межслойных переходов в производство печатных плат. Основными преимуществами рассматриваемой технологии дамаскирование является: использование легкодоступных и дешевых материалов, достаточно простое в изготовлении и эксплуатации оборудование и уменьшение времени на сам технологический процесс по сравнению с другими существующими методами [1].

Современное производство сложно себе представить без многослойных печатных плат. Так как технология их изготовления отличается от технологии для односторонних и двусторонних печатных плат, приходится решать вопросы, связанные со спецификой, характерной для МПП. Одна из специфик – металлизация межслойных переходов, которая служит для коммутации проводников и различных радиоэлектронных элементов.

Современные методы металлизации межслойных переходов основаны на применении в основном алюминия и меди, так же технологии бывают субтрактивные и аддитивные. В данной пристальный анализ сосредоточен на медной аддитивной

технологии дамаскирования, которые сравнивается с наиболее распространенной алюминиевой субстративной технологии металлизации межслойных переходов [2-4].

Постановка задачи: проанализировать и сравнить наиболее распространенные методы металлизации межслойных переходов в производстве многослойных печатных плат и сделать выводы на основе проведенного исследования.

Целью работы является анализ и выработка результатов исследования технологии одиночного и двойного дамаскирования по металлизации межслойных переходов.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

- Обзор технологий алюминиевой и медной технологии металлизации межслойных переходов [5-7];
- Анализ основных физических характеристик меди и алюминия, влияющих на металлизацию межслойных переходов [4];
- Рассмотрение каждого этапа и технологического перехода одиночного и двойного дамаскирования;
- Выработка наиболее важных проблем, связанных с медной технологией металлизации межслойных переходов и общего направления их решения.

Методы, используемые для решения поставленной задачи – это элементы теории физики полупроводников, технологические процессы в микроэлектронике и физико-химические основы производства электронных средств [1-4].

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе наиболее распространенных медных и алюминиевых технологий металлизации межслойных переходов и выработка соответствующих результатов для сравнения этих технологий.

Достоверность научных положений работы представлена в виде результатов сравнения алюминиевых и медных технологий по конкретным физико-химическим критериям.

Научная значимость результатов работы выражена в конкретных выводах и результатах анализа сравнения и исследования технологий металлизации межслойных переходов и в выработке основных проблем, связанных с реализацией данных технологий.

1 Способы металлизации межслойных переходов

В современном производстве наиболее часто используются два вида металлизации межслойных переходов, которые делятся по используемому для металлизации материалу: металлизация алюминием и медью [7].

Традиционно раньше в производстве использовалась металлизация с помощью алюминия. Типовой процесс алюминиевой металлизации выглядел следующим образом:

- Осаждение и структурирование алюминиевого слоя;
- нанесение резиста и его экспозиция;
- трансфер резистивной маски через слой сухим травлением;
- удаление фоторезиста;
- пассивация [8].

Вскоре, на производстве модифицировали данную технологию, сменив субстративный метод на аддитивный, научившись применять в данной технологии медь.

Медь обладает рядом достоинств перед алюминием, но так же и имеет свои особенности:

- Медь обладает меньшим удельным сопротивлением ($0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$), по сравнению с алюминием ($0,0295 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$);
- соответственно, меньшее сопротивление приводит к большей производительности и снижению электрического тепловыделения;
- и так как снижается электрическое тепловыделение, допускается использовать большие плотности токов (снижение времени трансфера резистивной маски) и соответственно более меньшие размеры;
- медь обладает меньшей энергией активации (4 эВ), по сравнению с алюминием (5.5 эВ);
- медь подвержена в меньшей степени электромиграционным отказам;
- медь имеет более высокую теплопроводность ($401 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) по сравнению с алюминием ($230 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$).

Так же наряду с положительными особенностями, медь имеет и свои недостатки перед алюминием:

- Медь не производит летучие продукты в процессе травления;
- медь быстро диффундирует с оксидом кремния;
- быстро окисляется на воздухе и соответственно не сможет защищать соединения от окисления [7-8].

На рис. 1 можно видеть непосредственную разницу между металлизациями с применением алюминиевой субстративной (а) технологии (фотография 1996 года, 3-слойного перехода с допуском 0,35 мкм) и медной аддитивной (б) технологии (фотография 2007 года, 11-слойного перехода с допуском 65 нанометров) [6].



(а)



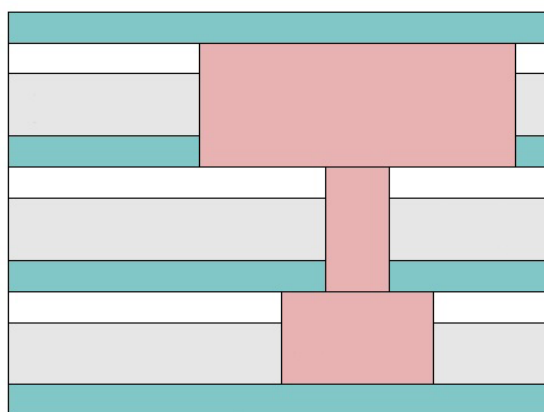
(б)

Рис. 1. Металлизация межслойных переходов с использованием алюминия (а) и меди (б)

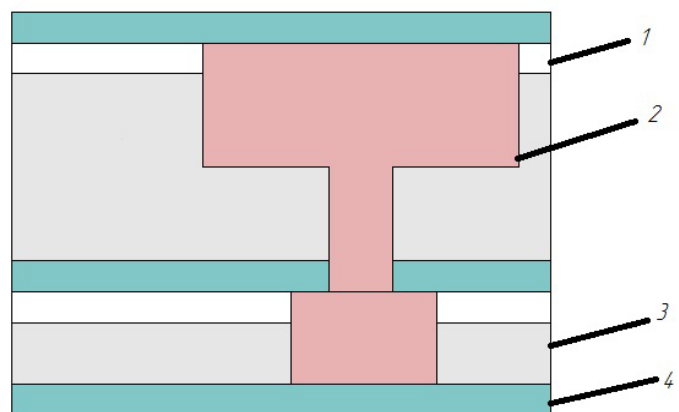
Для адаптации медной аддитивной технологии металлизации к производству, фирма IBM в 1990-х годах разработала и внедрила технологию «Дамаскирование», названную в честь Дамаска, столицы современной Сирии, где в Средневековье была распространена технологии инкрустации металла на металл [5].

2 «Дамаскирование» и «Двойной Дамаскирование»

Дамаскирование по способу обработки слоев и количеству технологических переходов подразделяется на одиночное и двойное дамаскирование.



(а)



(б)

Рис. 2. Поперечное сечение многослойной структуры для технологии одиночного дамаскирования (а) и двойного дамаскирования (б)

1- Оксид кремния (SiO_2);

2- Медь (Cu);

- 3- Карбид кремния (SiOC);
- 4- Силицианид (SiCN).

Главное отличие между двумя способами дамаскирования – это исключение для каждой металлизации по одному шагу осаждения металла и шагу осаждения диэлектрика (на рис. 2 это отчетливо видно: для одиночного дамаскирования слой 1 и 2 слой карбида кремния разделены зеленым и белым слоем, а на рисунке для двойного дамаскирования слой SiOC – сплошной, без этих самых двух «лишних» слоев). Тем самым, уменьшение двух шагов и материала позволило увеличить производительность технологии на 30% и добиться снижения длины стокового канала со 130 нм до 80 нм для МОП-транзистора [5].

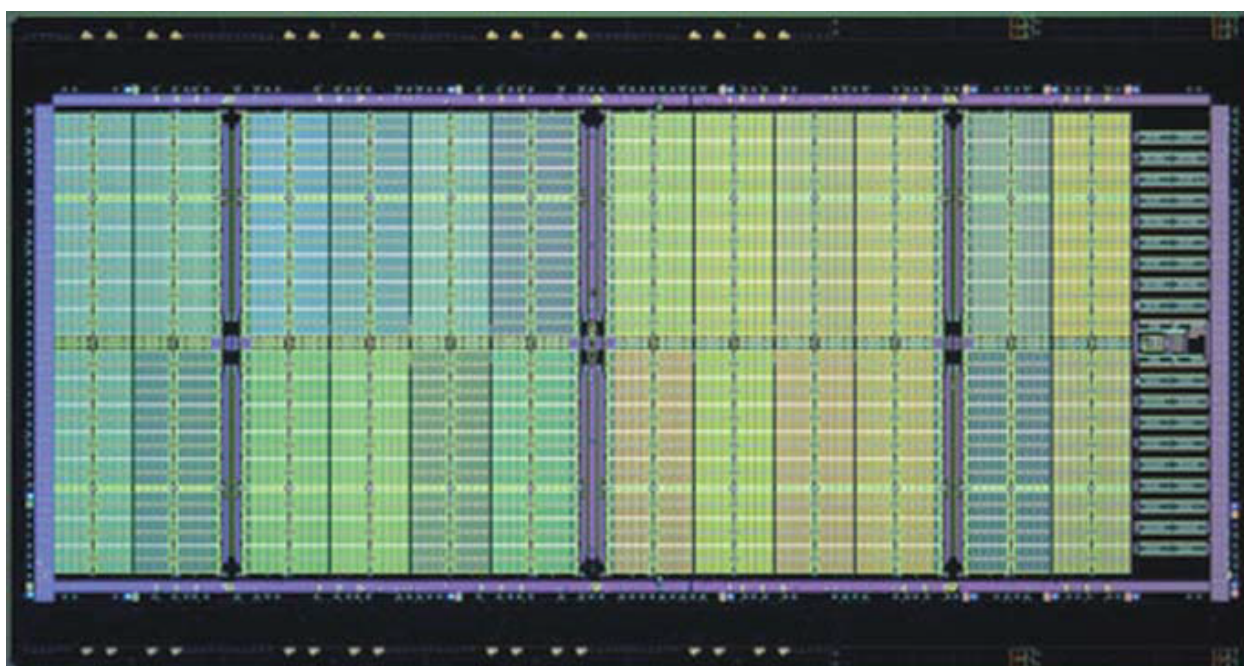


Рис. 3. Структура первого МОП-транзистора, выпущенного фирмой IBM с помощью технологии двойного дамаскирования [8]

Реализация этого главного отличия заключается в том, что в технологии одиночного дамаскирования обработке подвергается каждый отдельный последующий слой, в то время, как при двойном дамаскировании, минуя промежуточные этапы, мы можем сразу получать металлизированные отверстия заданной конфигурации [8].

Наиболее распространена в данное время технология двойного дамаскирования. Особенности ее таковы, что в верхней части пластины различные слои осажденного металла действуют как защита и пассивация для последующих слоев. В особенности это может быть использовано для прекращающегося травления при защите от газообразных молекул нитрида кремния или карбида кремния. В свою очередь, последующие слои

выступают как прослойки диэлектрика, в качестве материалов с низкой статической диэлектрической проницаемостью [6].

Технологический процесс двойного дамаскирования представлен на рис. 3 - 8.

Типовой процесс двойного дамаскирования по шагам представляет собой следующий набор технологических переходов [1]:

1) Пластина покрывается слоем резиста, сформированным фотолитографией (рис. 4);

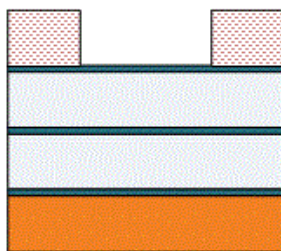


Рис. 4. Этап резистирования двойного дамаскирования

2) Первый слой маски и диэлектрические слои травятся в анизотропной сухой среде, пока не будет достигнут 2 слой (рис. 5);

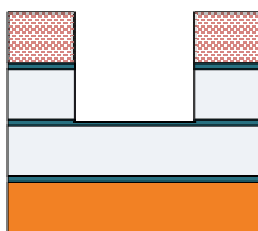


Рис. 5. Этап травления двойного дамаскирования

3) Осаждение и структуризация нового слоя резиста (рис. 6);

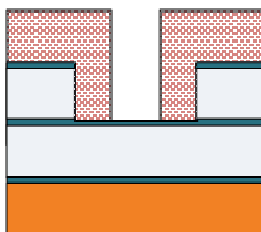


Рис.6. Этап нанесения протекторного слоя для двойного дамаскирования

4) Открываются межслойные переходы в анизотропном травлении (рис. 7);

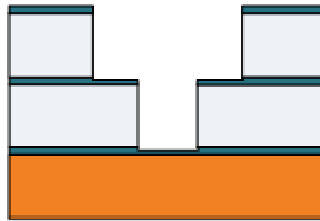


Рис. 7. Этап вскрытия окон двойного дамаскирования

- 5) Заполнение межслойного перехода тонким слоем меди и его гальваническое осаждение (рис. 8);

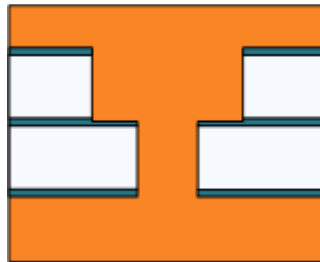


Рис. 8. Этап металлизации двойного дамаскирования

- 6) Полирование осажденного слоя меди.

Итого, в конце процесса металлизации межслойный переход представлен на рис. 9.

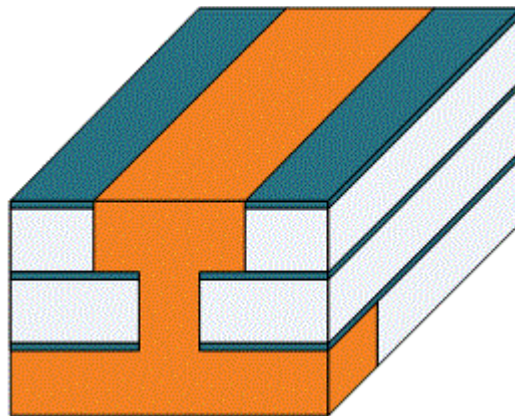


Рис. 9. Металлизированный переход в результате двойного дамаскирования

Итого, были рассмотрены медные технологии двойного дамаскирования и одиночного дамаскирования. На основе проведенного анализа и обзора технологий медной металлизации межслойных переходов можно сделать вывод, что наиболее

перспективной из них является развитие технологии двойного дамаскирования, так как физические характеристики используемых материалов позволяют получать межслойные коммутационные переходы максимально удобной по габаритам и конфигурации формы, а так же с наиболее точными электрическими характеристиками. Стоит отметить, что внедрение в производство этой технологии является и экономически сообразным, что немаловажно в текущих реалиях рыночной системы. Текущие трудности, связанные с внедрением технологии дамаскирования на производство, заключаются во взаимодействии меди с любыми соединениями кремния, а соответственно в необходимости тратить время и средства на создания дополнительных протекторных резистивных слоев для защиты меди от взаимодействия с кремнием. Соответственно, наиболее важный вопрос в технологии дамаскирования, требующий решения – это создание более экономически дешевых и более надежных защитных резистивных материалов, которые могут быть использованы для этой технологии металлизации межслойных переходов.

Заключение

Результатом проделанной работы является анализ и выработка результатов сравнения аддитивных и субтрактивных медных и алюминиевых технологий между собой. В рамках работы были решены следующие задачи:

1. Был произведен обзор наиболее часто используемых методов металлизации межслойных переходов в производстве печатных плат;
2. Произведен анализ физико-химических характеристик меди и алюминия, которые непосредственно влияют на коммутационные электрические свойства металлизированных межслойных переходов;
3. Рассмотрен типовой технологический процесс на каждом этапе для двойного дамаскирования и по технологическим переходам для одиночного и двойного дамаскирования;
4. Определена наиболее важная проблема, связанная с массовым внедрением технологии двойного дамаскирования на производство многослойных печатных плат;
5. Были рассмотрены характерные особенности технологий металлизаций межслойных переходов, которые позволят наиболее гибко применять тот или иной метод на конкретном производстве с учетом его специфики.

Итогом работы являются выработанные результаты на основе обзора методов металлизации межслойных переходов, анализа их специфики и типовых технологических процессов и сравнения их характеристик по наиболее важным для производства критериям (экономической эффективности и производительности).

Список литературы

1. Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств / под общ. редакцией В.А.Шахнова. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005. 568 с. (серия: Информатика в техническом университете, второе издание).
2. Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В. Нейросетевые методы дефектоскопии печатных плат // Электронные компоненты. - 2004. №8. С. 148-155.
3. Панфилова С.П., Червинский А.С., Власов А.И., Гриднев В.Н. Бесконтактный тепловой контроль изделий электронной техники // Производство электроники: технологии, оборудование материалы. 2007. № 3. С. 25-32.
4. Панфилова С.П., Червинский А.С., Власов А.И., Гриднев В.Н. Бесконтактный тепловой контроль электронно-вычислительных средств // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. № 6. С. 1-9.
5. Gupta T. Copper Interconnect Technology. Germany: Springer Science, 2009. 433 p.
6. Michael Quirk. Semiconductor manufacturing technology. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.354 p.
7. Полубасов О.Б. Глобальная минимизация количества межслойных переходов. М: Феникс, 2009. 264 с.
8. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 488 с.