

УДК 621.357.53

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ В ПЛАСТИНАХ КРЕМНИЯ

Руслан Игоревич Фёдоров

Студент 3 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,

Ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: *Металлизация отверстий (TSV plating), кремниевая подложка (Silicon wafer), прямая металлизация.*

Аннотация: *В статье представлен анализ способов получения отверстий в кремниевом основании интерпоузеров (от англ. interposer) и радиационно-стойких коммутационных плат. Рассмотрены варианты создания токопроводящего покрытия на поверхности отверстий в кремнии. Даны рекомендации по гальванической металлизации кремния в сернокислом электролите меднения.*

Введение

В последнее время основной задачей электроники является уменьшения габаритов и наиболее плотное расположение элементов на поверхности плат. Одним из решений является создание многослойных структур, связанных между собой переходными металлизированными отверстиями.

В статье частично рассматриваются технологические процессы создания интерпоузеров и коммутационных плат на кремниевом основании, а именно:

- 1) Методы получения отверстий в кремнии;
- 2) Создание токопроводящего слоя на поверхности кремния (гальваническое осаждение меди из раствора).

Преимущества кремниевых подложек

Использование кремниевых подложек не ограничено только Землей, они также и применяются в космической технике. К электронным изделиям для работы в космосе предъявляются дополнительные требования, такие как, устойчивость к вибрации, перегрузкам и др. Кремний удовлетворяет этим требованиям, а также он имеет стойкость к радиационному излучению, что также важно в условиях, как космоса, так и военной техники (статья Михаила Сваричевского <https://habrahabr.ru/post/156049/>, 2012).

Формирование отверстий

При формировании переходных отверстий в кремнии (Through silicon via) наиболее востребованными методами являются Bosch-процесс и лазерное сверление (Laser Drilling technology). Bosch-процесс основан на глубоком реактивно ионном травлении и позволяет получить отверстия с их соотношением глубины к диаметру до 110:1. На сегодняшний день Bosch-процесс является наиболее часто используемой технологией для получения переходных отверстий. Лазерное сверление является точечной операцией, и является экономически выгодным при небольшом количестве переходных отверстий в кремниевой подложке. При лазерном сверлении поверхность, получаемая в отверстиях, имеет высокую шероховатость [1].

Основным способом металлизации микроотверстий в кремнии является вакуумное нанесение металлов. В работе [2] в качестве альтернативы вакуумному методу нанесения пленок на кремний предлагается метод электрохимического осаждения металлов из раствора. В

настоящее время этот метод становится все более актуальным, потому что он является более простым, дешевым и имеет широкие возможности регулирования микроструктуры пленок.

Медь имеет хорошую электропроводность и хорошо сочетается с другими материалами, но плохо связывается с поверхностью полупроводника, поэтому предварительно на поверхности кремния создают барьерно-адгезионный слой.

Рассмотрим более подробно несколько способов создания токопроводящих слоев.

Экспериментальная часть

Во всех экспериментах на начальном этапе кремниевая пластина зачищается изопропиловым спиртом, затем промывается под теплой, потом холодной водой и сушится феном. Технологические процессы получения токопроводящего слоя на поверхности кремния изображены на рисунке 1.

Методы создания токопроводящего покрытия на кремнии, использованные при проведении эксперимента:

1) На поверхность кремния наносится равномерный слой графита, сушится (≈ 10 мин), крепится на металлической пластине (площадь $\approx 1.39 \text{ дм}^2$) и погружается в сернокислый электролит меднения (ток 5А, время 35 мин).

2) Прямая металлизация с кондиционированием (DS270) [3].

3) Прямая металлизация без кондиционирования.

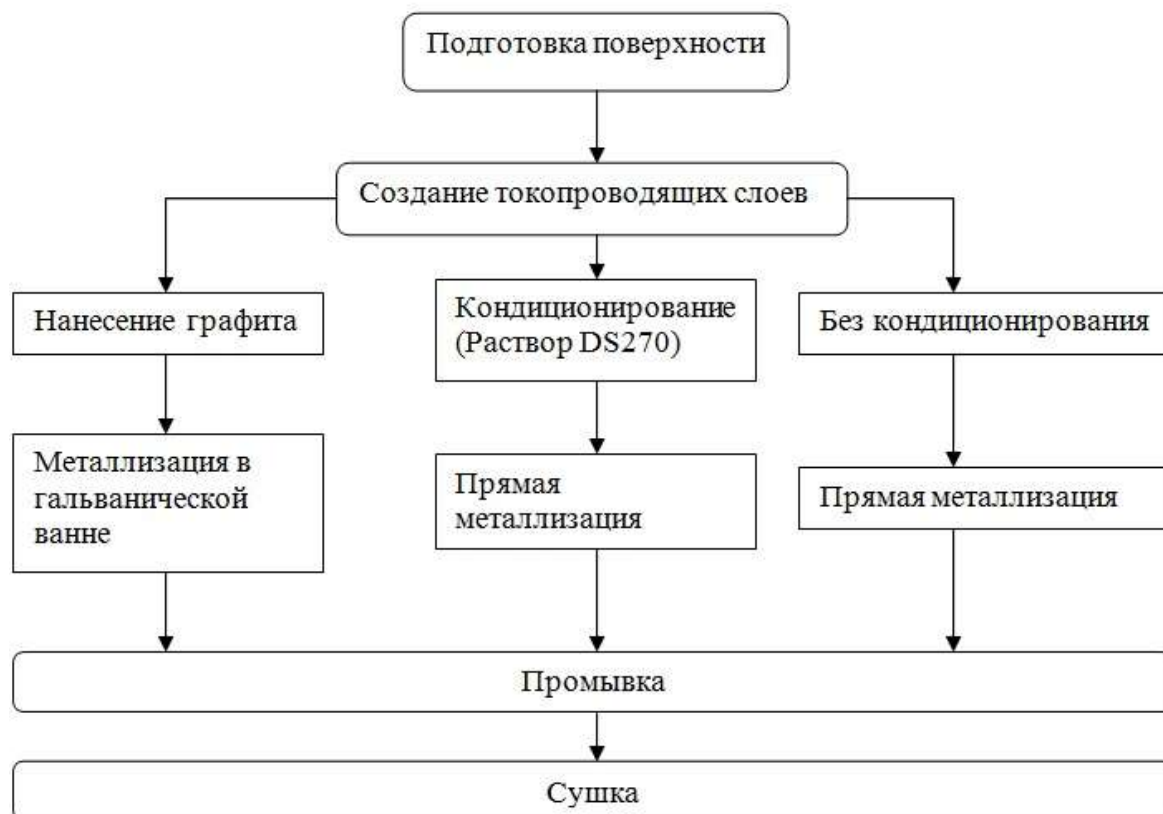


Рис.1 Схема технологических процессов металлизации кремния

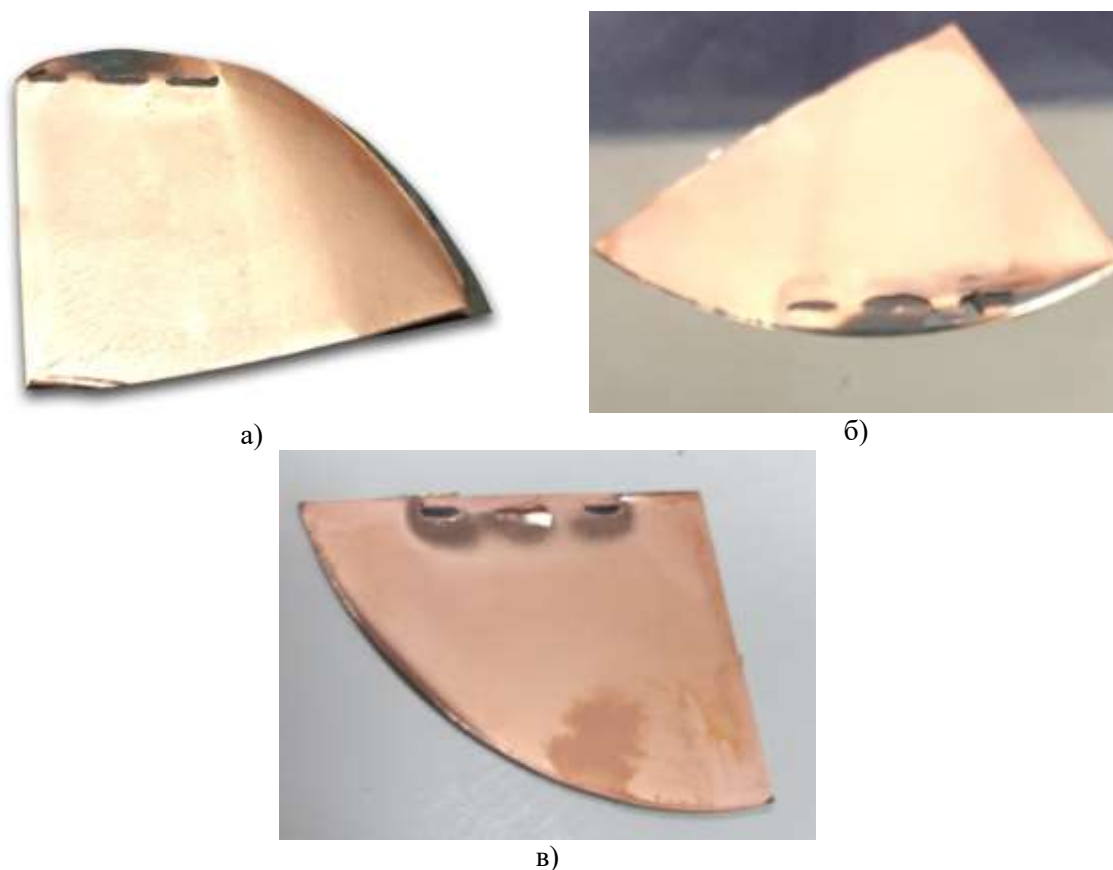


Рис. 2 Металлизированные подложки кремния, полученные методом нанесения графита как активатора

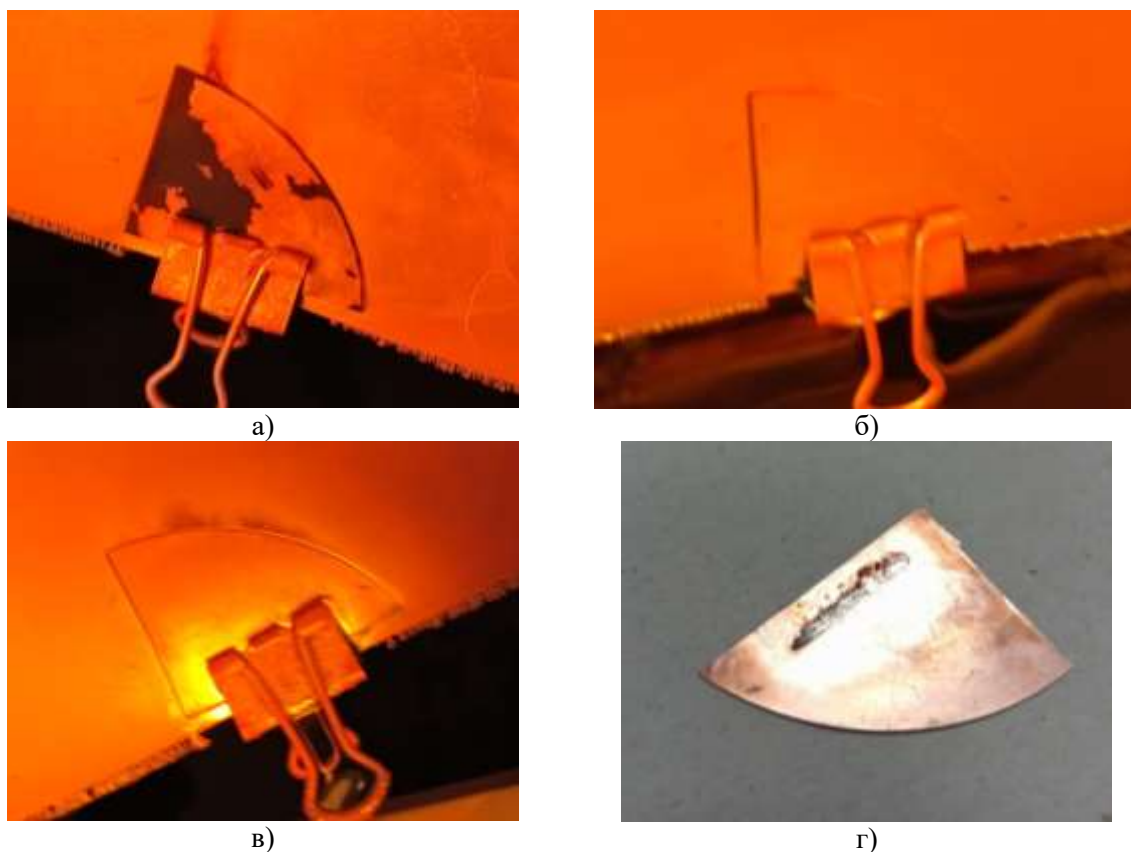


Рис.3 Процесс и результат прямой металлизации с кондиционированием:
а) после 5 мин, б) после 15 мин, в) после 35 мин, г) после сушки

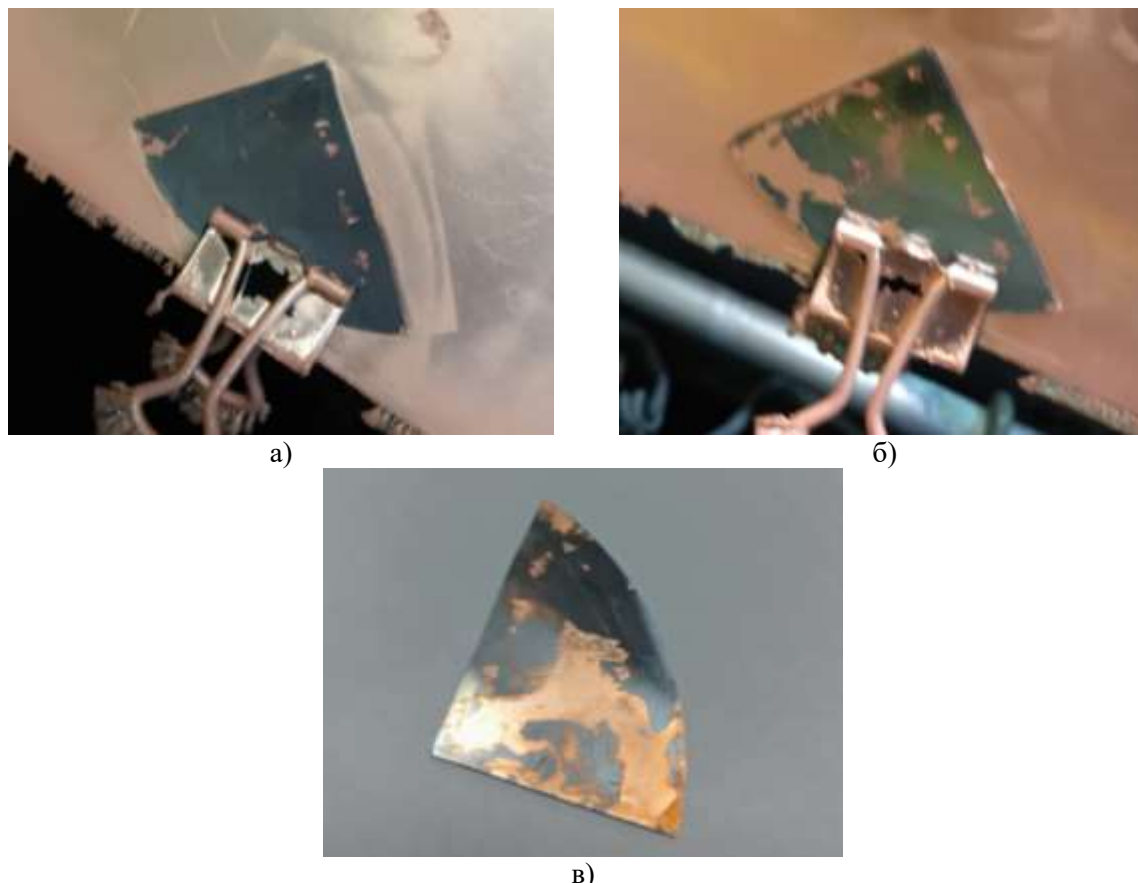


Рис. 4. Процесс и результат прямой металлизации без кондиционирования:
а) после 5 мин, б) после 15 мин, в) после сушки

Исследование и сравнение полученных результатов

1. Графитовый токопроводящий слой

Было проведено три эксперимента:

В первом эксперименте использовалась кремниевая подложка, на которой оставались разводы после очистки спиртом, а слой графита на ней по сравнению со следующими опытами имел высокую шероховатость. Возникла эта шероховатость из-за возможного обдува во время сушки графита. Поверхность меди после окончания металлизации в гальванической ванне, промывки и сушки начала отслаиваться с кремния у угла. На поверхности пленки образовались локальные неровности («вздутия»). Эти «вздутия» предположительно были вызваны выделяющимися газами/парами растворителя, которые остались под пленкой из меди. Масса слоя меди 0,08г. При снятии пленки с поверхности, пленка меди снималась с графитом. Адгезия получившейся пленки меди-графита с кремнием была удовлетворительной (Рис.2а).

Во втором эксперименте использовалась кремниевая подложка, на которой оставались разводы после очистки спиртом, но поверхность графита была ровной. В отличие от первого эксперимента, здесь поверхность пленки без видимых «вздутий». Слой меди также начал самостоятельно отслаиваться с края. Медь помимо графита, выросла также и на поверхности кремния, покрылась с торцов подложки. Адгезия значительно лучше, по сравнению с первым экспериментом (Рис.2б). Масса меди 0,06г.

В третьем эксперименте использовалась кремниевая подложка без разводов, а поверхность графита была ровной. Здесь также была хорошая поверхность меди, как и во втором опыте. Самостоятельного отслаивания после сушки замечено не было, возможная причина этому то, что практически по всей поверхности торца выросла медь. Адгезия меди с графитом к кремнию сравнима со вторым экспериментом (Рис.2в). Масса меди 0,08г.

2. Прямая металлизация

С кондиционированием (Раствор DS270)

Слой меди имел хорошую адгезию с кремнием. На торцевой поверхности также был слой меди. В области токоподвода толщина была больше, по сравнению с удаленными краями от контакта. Возможный вариант достижения более равномерного по толщине покрытия - увеличение количества точечных токоподводов (Рис.3). Масса меди 0,08г

Без кондиционирования

Медь покрылась не по всей поверхности. На рис.4в можно заметить формирующийся отпечаток пальца, который мог оказаться там при креплении кремния на металлическую пластину. Соответственно медь осаждалась только в «чистых» местах. При этом слой меди имел также хорошую адгезию с кремнием (Рис.4). Масса меди 0,03г.

Применение раствора DS270 оказывает существенное влияние на качество эксперимента. Этот раствор помимо функции кондиционирования выполняет и функцию очистки. Поэтому при проведении прямой металлизации без DS270 барьерно-адгезионный слой не лег в местах загрязнения. Исходя из этого следует, что раствор DS270 обязателен при проведении прямой металлизации.

Заключение

Таким образом, тема получения токопроводящих слоев на поверхности кремния является актуальной, поскольку использование кремниевых подложек позволяет изготавливать микропроцессоры не только в стандартных условиях среды, но и в условиях повышенной радиации (космос, военные технологии). В результате работ, проводившихся в лаборатории, было оценено качество полученных металлизированных подложек кремния и отмечена важность кондиционирования при прямой металлизации.

Литература

1. *Solience Ngansso, Peter Fischer* Through Silicon Via Technology for 3D-integration. Heidelberg, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg Publ., 2012. – 7 с.
2. *Степанова Л. И.* Обоснование оптимальных условий химического осаждения меди из растворов для формирования токопроводящих покрытий в отверстиях полупроводника // *Материалы и структуры современной электроники*, 2014. С. 230-232
3. *Светлана Шкундина, Аркадий Сержантов* Новые процессы и материалы, введенные в отечественный стандарт // *Технологии в электронной промышленности*. 2008. №5. С. 88-91.