

ТЕХНОЛОГИИ

УДК 539.216.2:541.138.3

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОДНОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ МЕДНЫХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ НА ПОДСЛОЕ ТАНТАЛА С ХИМИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ МЕДНЫХ ЗАТРАВОЧНЫХ СЛОЕВ

В.А. СОКОЛ, П.В. ГОМОЛКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 18 января 2005*

Предложен метод создания медных затравочных слоев на подслое тантала химическим осаждением. Разработан технологический процесс создания медных межсоединений для многокристалльных модулей.

Ключевые слова: медные межсоединения, химическое осаждение, затравочный слой.

Введение

В связи с расширением областей использования многокристалльных модулей (МКМ) актуальным является их разработка и изготовление с многоуровневой системой межсоединений (МСМ). Быстрое увеличение плотности приборов и сложности схемы требует одновременного увеличения плотности межсоединений. Традиционно этого достигают, уменьшая шаг металлизации и постепенно увеличивая число уровней межсоединений. Для этого регулируют ширину и длину межсоединений, уменьшая их до субмикронных размеров на уровне микросхемы и до микронных размеров на уровне МКМ. Возникающие при этом помехи в виде задержки сигнала, перекрестных помех, электромиграции и миграции, вызванной механическими напряжениями, которые приводят к отклонениям в работе приборов, становятся важными научными и технологическими проблемами [1].

В настоящее время алюминий и его сплавы используются как один из основных материалов, так как он отвечает большинству технических требований металлизации МКМ. Однако для металлизации современных МКМ алюминий не всегда пригоден из-за ограничений, связанных со свойствами металла и технологией осаждения. Электрическое удельное сопротивление алюминия и его сплавов недостаточно низкое. Наряду с традиционными видами МСМ на основе алюминия разрабатываются новые с целью улучшения изменения свойств МКМ (быстродействие, уменьшение задержки распространения сигнала, уменьшение удельного сопротивления и т.д.). К таким МСМ относятся, в частности, межсоединения на основе меди, служащей в качестве основного металла, и оксида алюминия, служащего в качестве диэлектрика. Главным преимуществом использования медных проводников является уменьшение (на 40%) задержки распространения сигнала по проводнику и, как следствие этого, увеличение быстродействия всей схемы в целом [2–4].

Экспериментальная часть

Среди существующих методов создания тонких пленок металлов (осаждение из паровой фазы, осаждение распылением, электрохимическое осаждение) электрохимический метод является наиболее простым, надежным и недорогим. Кроме того, он обеспечивает селективность осаждения.

Для создания медной металлизации для МКМ электрохимическим методом на подслое тантала необходимо получить тонкую ($\approx 1000\text{--}2000 \text{ \AA}$) затравочную, или первичную, пленку химическим осаждением или электронно-лучевым напылением для последующего электрохимического наращивания.

Химическое осаждение первичного затравочного слоя меди обеспечивает селективность всего технологического процесса получения медной металлизации [5–7].

На рис. 1 представлена схема изготовления одноуровневой системы металлизации на основе медных пленок для МКМ.

Для эксперимента использовались ситалловые подложки с размерами 60×48 мм.

1. Химическая очистка подложек. Подложки подвергались последовательной очистке перекисно-аммиачным раствором, раствором смеси CrO_3 и H_2SO_4 , дистиллированной водой и парами полипропиленового спирта.

2. На очищенные и обезжиренные подложки вакуумным электронно-лучевым напылением нанесены слои тантала (50 нм) и алюминия (2 мкм).

3. Создание маски для травления окон в слое алюминия посредством фотолитографического процесса. Использовались фотошаблоны тестовых структур с минимальной шириной элемента 5 мкм.

4. Травление окон в слое алюминия толщиной 2 мкм.

5. Травление оксида тантала (табл. 1) и химическое осаждение тонкого слоя меди ($1000\text{--}2000 \text{ \AA}$) (табл. 2, рис. 2).

6. Осуществление процесса взрывной фотолитографии для снятия фоторезиста маски с избыточным слоем меди. Процесс проводился в кипящем диметилформамиде.

7. Создание маски для электрохимического осаждения меди на тонкую медную пленку-присадку, нанесенную, согласно п. 5, фотолитографическим способом. Использовались фотошаблоны тестовых структур с минимальной шириной элемента 5 мкм.

8. Наращивание медной пленки в окнах электрохимическим методом до толщины 2 мкм (табл. 3).

9. Травление фоторезистивной маски в диметилформамиде.

10. Создание маски для электрохимического анодирования слоев алюминия и тантала фотолитографическим способом. Использовались фотошаблоны тестовых структур с минимальной шириной элемента 5 мкм.

11. Анодирование пленок алюминия (табл. 4) и тантала (табл. 5) для создания межслоевого диэлектрика.

12. Травление фоторезистивной маски в диметилформамиде.

Таблица 1. Состав раствора травления оксида тантала

Компонент	Содержание компонента на 1 л раствора
Состав	
H_2O дист.	8–20 мл
HNO_3 70%	60–100 мл
NH_4F	8–15 г
Молочная кислота	18–22 мл
$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	5–6 г
Режим травления	
pH	1,5–2,0
t, с	10
T, °C	20

Таблица 2. Состав водного раствора химического меднения тантала

Компонент	Содержание компонента
Состав, г/л	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	33
Формальдегид (НСНО)	40 мл/л
Этилендиаминтетрауксусная кислота (Трилон Б)	6,6
$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	0,05
2,2'-dipyridyl	0,05
H_2SO_4 (конц.)	Регулировка pH раствора
NaOH (конц.)	Регулировка pH раствора
Режим осаждения	
pH	12,2
T, °C	55–65

Таблица 3. Состав водного раствора электролита электроосаждения меди

Компонент	Содержание компонента
Состав, г/л	
Меди сульфат	85
Калия пирофосфат	360
Аммония нитрат	23,5
Режим осаждения	
pH	8,1
T, °C	35–40
Гальваностатический режим, катодная плотность тока, А/дм ²	0,4–9,0
Отношение площадей анода и катода	2–2,5

Таблица 4. Состав водного раствора анодирования алюминия

Компонент	Содержание компонента
Состав, об. %	
Кислота серная	5
Режим анодирования	
T, °C	20
Потенциостатический режим, напряжение, В	10

Таблица 5. Состав водного раствора анодирования тантала

Компонент	Содержание компонента
Состав, об. %	
Кислота фосфорная	4
Режим анодирования	
T, °C	20
Потенциостатический режим, напряжение, В	70

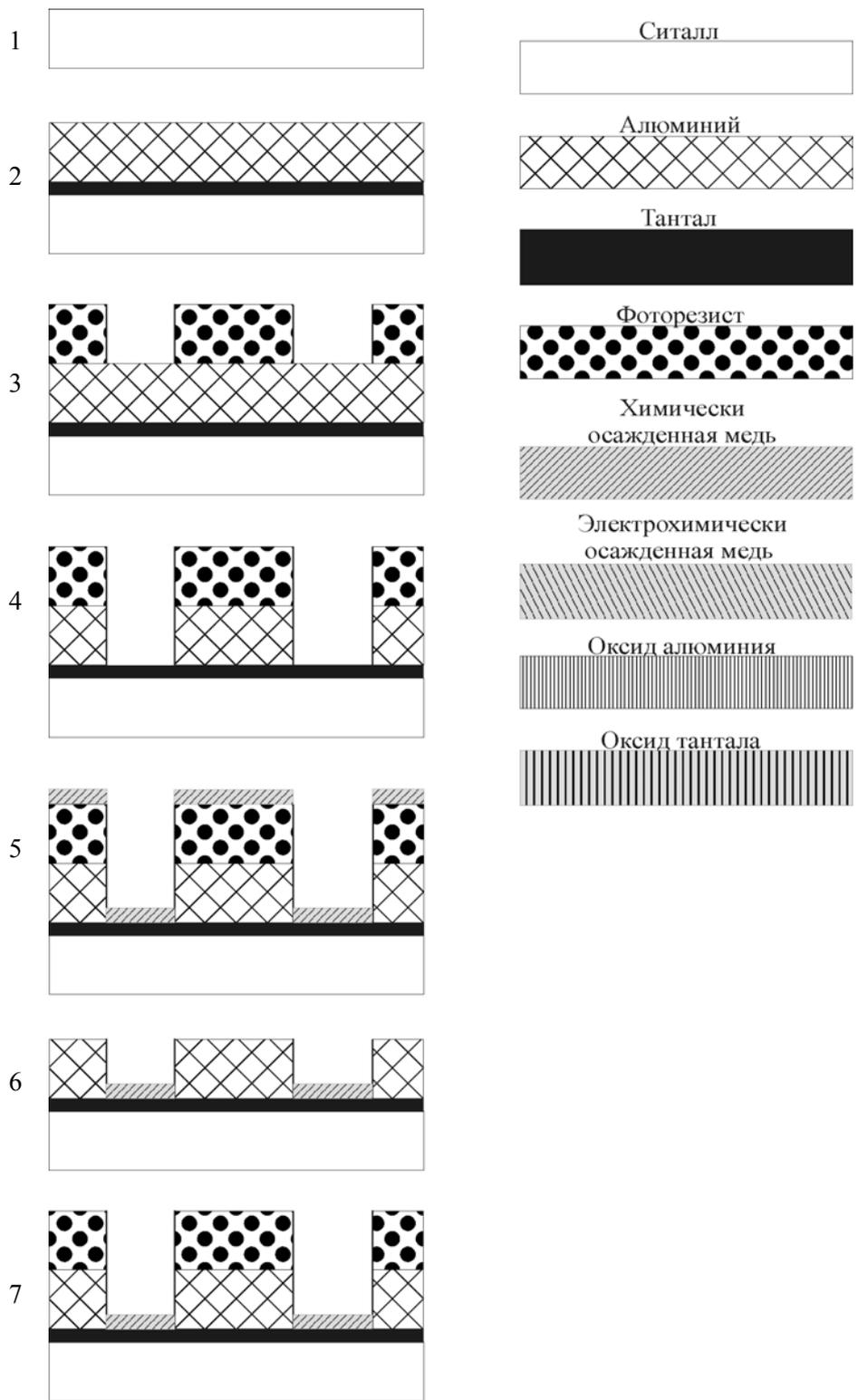
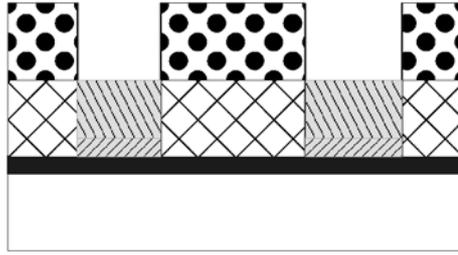


Рис. 1. Схема технологического процесса формирования многоуровневой металлизации на основе пленок меди

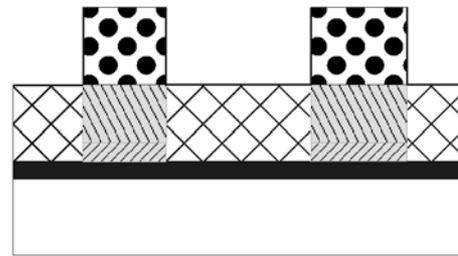
8



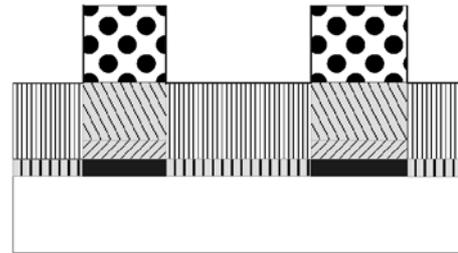
9



10



11



12

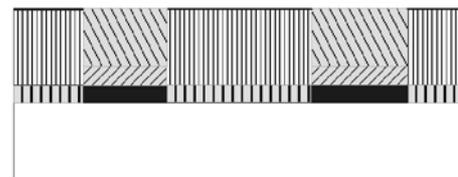


Рис. 1. Продолжение

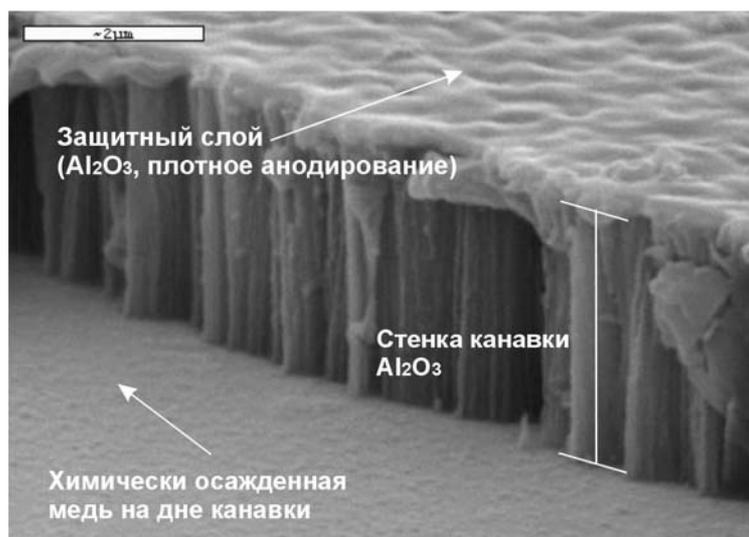


Рис. 2. Микрорельеф поверхности структур после химического осаждения меди

Заключение

Разработана технология создания системы медной металлизации МКМ на основе пленок меди. Для ее создания использованы химический и электрохимический методы осаждения меди. Данные методы обеспечивают беспустотное и равномерное заполнение канавок с высокой скоростью. Необходимым условием осуществления процесса электрохимического осаждения меди на подслое тантала является наличие тонкого затравочного слоя меди ($\approx 1000\text{--}2000 \text{ \AA}$), получаемого химическим осаждением на тантал.

Разработанный раствор химического осаждения меди позволяет получать тонкие пленки меди с удовлетворительными характеристиками на предварительно активированном подслое тантала.

DEVELOPMENT OF MCM ONELEVEL COPPER INTERCONNECTIONS SYSTEM ON TANTALUM UNDERLAYER WITH ELECTROLESSLY DEPOSITED COPPER SEED LAYERS

V.A. SOKOL, P.V. HAMOLKA

Abstract

A method of electrolessly deposited copper seed layers on tantalum development is proposed. An original MCM copper interconnections development technological process was investigated.

Литература

1. Wong K.K.H., Kaja S., DeHaven P.W. // IBM Journal of Research and Development. 1998. Vol. 42, № 5.
2. Powell R.A., Harrus A.S., Hill R. Novellus Systems, Inc, www.novellus.com.
3. Dubin V., Shacham-Diamand Y. et al. // J.Electrochem. Soc. 1997. Vol. 144, № 3.
4. Shacham-Diamand Y., Dubin V., Angyal M. // Thin Solid Films. 1995. Vol. 262. P. 95–103.
5. Shacham-Diamand Y., Lopatin S. // Microelectronic Engineering. 1997. Vol. 37/38. P. 77–88.
6. Shacham-Diamand Y., Dubin V. // Microelectronic Engineering. 1997. Vol. 33. P. 47–58.
7. Magagnin L., Maboudian R., Carraro C. // Electrochemical and Solid-State Letters. 2001. Vol. 4 (1). C5–C7.