

Применение вакуумных методов напыления при формировании топологии элементов микросхем

М. В. Седнев, А. С. Атрашков

В данной работе рассмотрены физико-технологические особенности вакуумных методов напыления при формировании топологии элементов микросхем. Проведенные исследования показали, что профили границ пленок при напылении через отверстия в маске резистивным испарением (навеска SiO, In), магнетронным (мишень ZnS) и ионно-лучевым (мишень SiO₂) зависят как от метода напыления, так и от технологических параметров масок.

Ключевые слова: вакуумные методы напыления пленочных покрытий, топология электронных элементов микросхем, свободная маска, фоторезист, методы напыления.

Введение

Термические методы напыления (резистивное и электронно-лучевое испарение) широко используются для напыления металлических и диэлектрических покрытий, но часто не обеспечивают достаточную адгезию слоев к подложке [1–5]. Для улучшения адгезии нагреванием при температурах не менее 150÷200 °С с поверхности подложки (пластины) удаляют адсорбированные моноатомные слои воды и углеводородных соединений.

Адгезию напыляемых слоев можно улучшить при использовании ионно-плазменных методов обработки поверхности, в т. ч. в процессе роста напыляемого слоя. Ионно-плазменные процессы (ИПП) травления и нанесения материалов получили широкое распространение в технологии полупроводниковых приборов благодаря своей универсальности и ряду преимуществ по сравнению с другими процессами. Универсальность ИПП определяется тем, что с их помощью можно осуществлять различные технологические операции, а именно: очистку полупроводниковых пластин перед напылением, напыление металлических и диэлектрических покрытий, травление с целью создания сформированной фотолитографией конфигурации элементов микроэлектронных устройств, отдельные из которых могут осуществляться последовательно в едином вакуумном цикле без разгерметизации установки [5–7].

Чем выше энергия частиц, испускаемых источником, тем глубже они внедряются в структуру подложки, улучшая адгезию покрытия, но нельзя забывать, что при этом повышается вероятность дефектообразования. Использование плазмы позволяет также снимать внутренние напряжения и минимизировать шероховатость поверхности покрытий. Так, в установках магнетронного типа с использованием плазмы получают покрытия с шероховатостью $R_z = 0,3$ нм, а в установках напыления с электронно-лучевым распылением и плазменно-ионной поддержкой $R_z = 0,4$ нм. Нужно иметь в виду, что разные шероховатости подходят для решения разных задач. Для подобных задач применяются специализированные вакуумные напылительные установки [7, 8].

Основная тенденция развития инфракрасной (ИК) техники заключается в увеличении числа чувствительных элементов ИК-фотоприемников большой плотности на уровне 1024×1024 и с шагом 15÷30 мкм. Элементы фотоприемной матрицы соединены микроконтактами с матрицами электронной обработки сигнала на основе кремниевых больших интегральных схем (БИС). Эти сложнейшие гибридные устройства эксплуатируются в жестких условиях термоциклирования при температурах –196÷+60 °С. При решении ряда задач фотоэлектроники существует необходимость формирования границ металлических и диэлектрических пленочных покрытий для создания элементов микросхем. Наибольшие проблемы возникают при формировании границ элементов топологии из толстых (более 0,5 мкм) металлических и диэлектрических покрытий, особенно многослойных.

Целью данной работы являлось исследование зависимости профилей границы пленок при напылении через отверстия в маске, расположенной на различных расстояниях от поверхности пластины и разных методов напыления.

Седнев Михаил Васильевич, начальник участка.
Атрашков Антон Сергеевич, инженер.
АО «НПО «Орион».
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 28 июня 2017 г.

© Седнев М. В., Атрашков А. С., 2017

Экспериментальные результаты

Для исследования использовались три метода нанесения пленок: магнетронный (мишень ZnS), резистивный (навеска SiO, In) и ионно-лучевой (мишень SiO₂).

Поверхность пластины для формирования края элементов маскировали свободной металлической маской, либо маской из фоторезиста (рис.1).

Свободная маска

На рис. 1 схематично представлена оснастка для напыления и пластина с одним слоем диэлектрического материала, напыленного через свободную маску. Толщина маски 120 мкм. Расстояние между нижней плоскостью маски и поверхностью пластины изменяли от 0 до 120 мкм. После выполнения процесса напыления профилометром измеряли изменение толщины пленки h на краю замаскированного участка. Для измерения профиля использовали контактный профилометр «Дектак». Диаметр контактного стилуса не превышал 12,5 мкм.

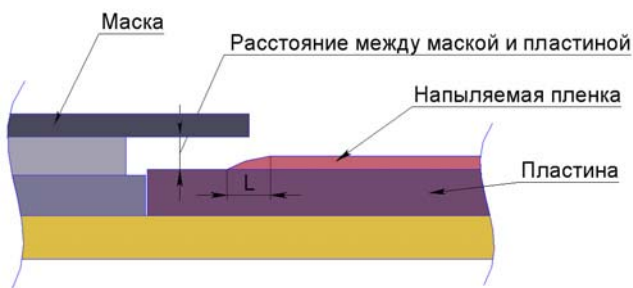


Рис. 1. Схема эксперимента.

Профилограмма края пленки, полученной магнетронным напылением, представлена на рис. 2. Ширину границы напыленного слоя L определяли по разнице в толщине пленки h , измеренной по уровням 0,05 и 0,95.

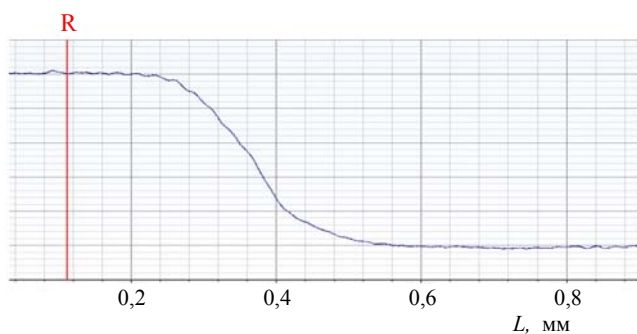


Рис. 2. Профилограмма края напыленного слоя.

Фоторезистивная маска

Влияние толщины фоторезистивной маски на ширину границы напыленного слоя L исследовали, используя технологию «лифт-оф» [9–11]. Толщину маски изменяли от 3 до 13 мкм.

На рис. 3 представлена профилограмма индиевых микроконтактов, изготовленных по «лифт-оф»-технологии, позволяющая утверждать, что ширина края напыленного слоя индия не превышает 12,5 мкм, а измеренная величина совпадает с радиусом контактного стилуса.

В таблице представлены значения ширины края напыленного слоя индия, полученные вычитанием размеров микроконтакта у основания и плоской части вершины, измененных на конфокальном профилометре, после напыления индия через отверстие 20×20 мкм в маске фоторезиста толщиной 6 и 13 мкм. Напыление толстых слоев индия через маску сопровождается зарастанием краев маски, уменьшением проходного отверстия и, как следствие, линейного размера плоского участка вершины.

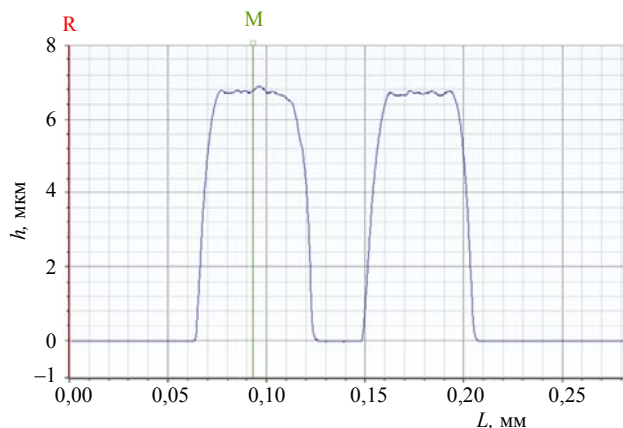


Рис. 3. Профилограмма края напыленного слоя индия.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице. Из таблицы видно, что с увеличением расстояния между пластиной и свободной маской (толщина маски 120 мкм) возрастает ширина границы напыленного слоя L (мкм) от 35 мкм до 200 мкм при расстоянии между маской и пластиной, равном нулю. Наименьшее значение этого параметра может быть получено термическим испарением, но существенно зависит от толщины маски. Увеличение толщины свободной маски от 0 до 120 мкм приводит к расширению границы напыленного слоя L с 35 мкм до 45 мкм в процессах резистивного испарения и со 150 мкм до 450 мкм при магнетронном напылении. Использование «связанной» с поверхностью фоторезистивной маски позволяет уменьшить ширину границы до 1,5 мкм при напылении индия толщиной 5 мкм («лифт-оф»-процесс).

Таблица

Ширина границы напыленного слоя при напылении через отверстия в маске, расположенной на различных расстояниях от поверхности пластины, при разных методах напыления

Способ нанесения	Установка	Материал	Толщина слоя, нм	Расстояние между нижней плоскостью маски и поверхностью пластины, мкм	Ширина границы напыленного слоя, L (мкм)	Примечание
Магнетронный	VECCO	ZnS	520	120	400–450	Подпыление за контур, по границам тень от маски.
Магнетронный	VECCO	ZnS	520	45	250–350	Подпыление за контур, по границам тень от маски.
Магнетронный	VECCO	ZnS	500	0	150–200	По границам тень от маски.
Резистивный	LH 560	SiO	400	120	40–45	Небольшая тень, граница повторяет дефекты маски.
Резистивный	LH 560	SiO	400	0	35–40	Небольшая тень, граница повторяет дефекты маски.
Резистивный	ВУП-4	In	10000	13 (фоторезист)	3	Лифт-оф-процесс
Резистивный	ВУП-4	In	5000	6 (фоторезист)	1,5	Лифт-оф-процесс
Магнетронный	LH Z-550	SiO ₂	500	Фоторезист	<20	Четкая граница. Фоторезист деструктировал, в некоторых местах у границы видны его остатки.
Ионно-лучевое распыление	IonFab	SiO ₂	350–400	0	100–120	По границам тень, граница повторяет дефекты маски.
Ионное распыление	IonFab	SiO ₂	350–400	120	350–450	Подпыление за контур, по границам тень от маски.

Обсуждение результатов

Зависимость ширины границы напыленного слоя при напылении через отверстия в свободной маске от метода напыления находится в соответствии с физическими процессами, формирующими угловое распределение плотности потока вещества, осаждаемого на пластине. В процессах выпаривания навески при резистивном и электронно-лучевом методах напыления угловое распределение плотности потока можно рассматривать как излучение из точечного источника [9–11]. Поэтому, выпариваемые атомы и молекулы взаимодействуют с поверхностью под углами, близкими к 90° . В процессах магнетронного и ионно-лучевого распыления мишень уже нельзя считать точечным источником, а атомы и молекулы, распыляемые с мишени, могут осаждаться на пластине и под меньшими углами ($45^\circ \div 90^\circ$).

Рис. 4 показывает влияние толщины маски и расстояния между маской и образцом на искажение вертикального профиля границы пленочного покрытия, формируемого вакуумным напылением с использованием свободной маски. Искажение вертикального профиля границы пленочного покрытия происходит по двум причинам: 1) – наличие области тени от верхнего края маски при осаждении атомов и молекул, траектории полета которых не совпадают с нормалью к поверхности; 2) – наличие свободного пространства между нижней плоскостью маски и пластиной с формируемой границей пленочного покрытия. Первая причина приводит к уменьшению толщины пленочного покрытия на формируемой границе по сравнению с центром создаваемого элемента. Вторая к запылению участков в области тени маски и увеличению размера элемента топологии изготавливаемой микросхемы.

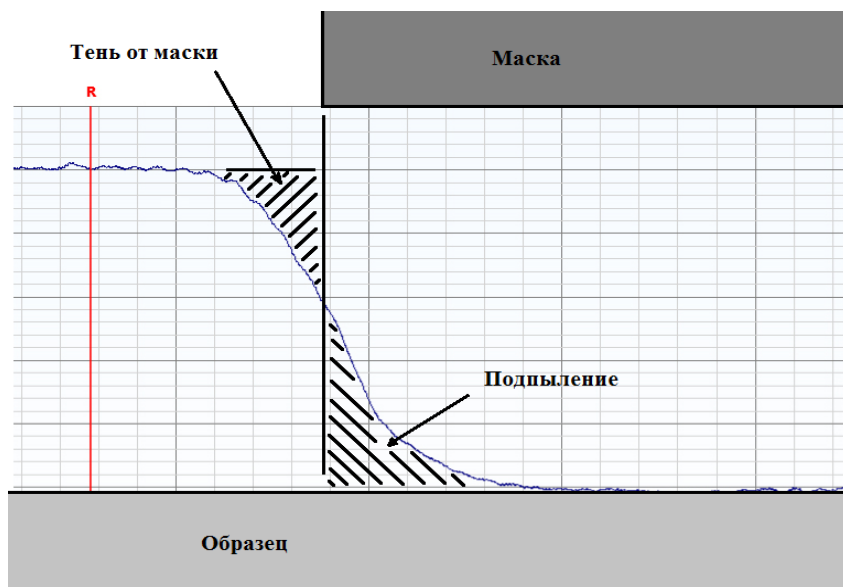


Рис. 4. Влияние толщины маски и расстояния между маской и образцом на искажение профиля границы пленочного покрытия.

Заключение

Проведенные исследования показали, что зависимость ширины границы слоя, напыленного через отверстия в маске, от метода распыления находится в соответствии с физическими процессами, формирующими угловое распределение плотности потока вещества, осаждаемого на пластине. Наименьшее значение этого параметра может быть получено термическим испарением и существенно зависит от толщины маски.

Толщина маски и расстояние между маской и пластиной являются важными технологическими параметрами при формировании границ элементов микросхем вакуумными методами напыления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. – М.: Физматкнига. 2011.

2. Седнев М. В., Болтарь К. О., Шаронов Ю. П., Лопухин А. А. // Прикладная физика. 2014. № 4. С. 51.
 3. Дирочка А. И., Курбатов Л. Н. Фотоэлектроника. Твердотельная электроника – М.: Техносфера 2009.
 4. Filachev A. M., Ponomarenko V. P., Taubkin I. I., Burlakov I. D., Boltar K. O., Gorelik L. I., Kravtchenko N. V., Klimanov A. V., Kulikov K. M., Lozhnikov V. Ye., Sharonov Yu. P. // Proceedings of SPIE. 2003. Vol. 5126-24. P. 206.
 5. Benjamin P., Weaver C. // Proceedings Royal Society, 1960. Vol. 245. P. 163.
 6. Ивановский Г. Ф., Петров В. И. Ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Радио и Связь, 1986. .
 7. Leybold Optics: Оборудование для нанесения сложных многослойных оптических покрытий // Фотоника. 2014. № 1. С. 43.
 8. Клименко А. Г. и др. // Автометрия. 1998. № 4. С. 105.
 9. Majssella L. and Glenga R. (ред.). Технология тонких пленок. – М.: «Советское Радио» 1977.
 10. Седнев М. В., Бурлаков И. Д., Болтарь К. О. // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 58.
 11. Седнев М. В., Болтарь К. О., Климанов Е. А., Микертумянц А. Р. Способ изготовления индиевых контактов с помощью позитивного обрабатываемого фоторезиста. Патент РФ 2522769 от 09.01.2013.

PACS: 85.30.-z

Application of vacuum methods of sputtering in the formation of the topology of the elements of microcircuits

M. V. Sednev and A. S. Atrashkov

Orion R&P Association
 9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia
 E-mail: orion@orion-ir.ru

Received June 28, 2017

Consideration is given to the physical features of vacuum methods for deposition at formation of topology elements of microcircuits. The fulfilled researches have shown that profiles of borders of films de-

pend on a method of deposition and technological parameters of masks. We used the evaporation (portion SiO, In), magnetron sputtering (MS) (target ZnS) and ionic-beam (target SiO₂).

Keywords: vacuum methods, deposition, film covers, topology, electronic elements, mask, photoresist.

REFERENCES

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-state photoelectronics*. (Moscow, Fizmatkniga, 2011) [in Russian].
2. M. V. Sednev, K. O. Boltar, Yu. P. Sharonov, and A. A. Lopuhin, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 51 (2014).
3. A. I. Dirochka and L. N. Kurbatov, *Photoelectronics. Vol. 2. Solid-State Electronics* (Tekhnosfera, Moscow, 2009) [in Russian].
4. A. M. Filachev, V. P. Ponomarenko, I. I. Taubkin, I. D. Burlakov, K. O. Boltar, L. I. Gorelik, N. V. Kravtchenko, A. V. Klimanov, K. M. Kulikov, V. E. Lozhnikov, and Yu. P. Sharonov, *Proceedings of SPIE*, **5126-24**, 206 (2003).
5. P. Benjamin and C. Weaver, *Proceedings Royal Society, London*, 1960, **245**, 163 (1960).
6. G. F. Ivanovski and V. I. Petrov, *Ionic-plasma processing of materials* (Radio and Svyaz', Moscow, 1986) [in Russian].
7. Leybold Optics: *The equipment for drawing of difficult multilayered optical coverings*, *Fotonika*, No. 1, 43 (2014).
8. A. G. Klimenko et al., *Avtometriya*, No. 4, 105 (1998).
9. Ed. by L. Majssella and R. Glenga, *Technology of thin films*. (Moscow, Soviet Radio, 1977) [in Russian].
10. M. V. Sednev, I. D. Burlakov, and K. O. Boltar, *Prikl. Fiz.*, No. 5, 58 (2007).
11. M. V. Sednev, K. O. Boltar, E. A. Klimanov, and A. R. Mikertumjants, RF Patent 2522769, January 09, (2013).