

## **Коррозионная стойкость алюминиевой металлизации ИМС**

*Исследовалась коррозионная стойкость алюминиевой металлизации на пластинах ИМС в камере влаги после операций вжигания металлизации и надрезки. Показано, что при наличии загрязнений металлизация подвержена коррозии. При химическом удалении загрязнений защитная плёнка оксида алюминия, образовавшаяся при вжигании металлизации, обеспечивает защиту от коррозии.*

Интегральные микросхемы (ИМС) являются основными элементами электронной промышленности. К ряду изделий, в связи с их специфическими условиями эксплуатации, предъявляются повышенные требования по надежности и стабильности работы. Для решения задачи увеличения сроков эксплуатации, а также сроков хранения готовой продукции проводились исследования факторов, приводящих к деградации эксплуатационных параметров и отказу функционирования ИМС [1,2,3].

Один из таких факторов - коррозия металлизации, которая может возникнуть как на контактных площадках, так и на токоведущих шинах ИМС [1]. Коррозия контактных площадок приводит к нарушению омического контакта между кристаллом и микропроводкой [4]. Локальные дефекты в пленочной металлизации являются очагами электромиграции, что приводит к обрывам электрических цепей ИМС.

В литературе имеется ряд работ, посвященных методам оценки коррозионной устойчивости и критериям надежной работы ИМС [3,5]. В работах [2,6] промоделировано воздействие влаги и рассмотрены механизмы, приводящие к коррозии алюминиевой металлизации. Для предотвращения деградационных отказов ИМС вследствие коррозии влажность атмосферы внутри корпуса ИМС не должна превышать некоторого критического значения. То есть, необходимо производить герметизацию ИМС во влагонепроницаемые корпуса. Данное требование согласуется с действующей нормативной документацией (ОСТ и ГОСТ [7]).

При длительном хранении или эксплуатации возможно натекания паров влаги внутрь корпуса, что вызывает увеличение влажности атмосферы внутри подкорпусного пространства. Поэтому дополнительным методом защиты ИМС от коррозии может являться повышение коррозионной стойкости непосредственно металлизации ИМС.

В настоящее время металлизация большинства ИМС выполняется из алюминия. Его использование обусловлено удовлетворительными физико-химическими характеристиками: достаточно высокая электропроводность, хорошая адгезия к Si и SiO<sub>2</sub>, пластичность, а также наличие собственного естественного оксида Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или гидрооксида Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O толщиной 50-100 Å [2], защищающего металл от воздействия с окружающей средой, в том числе, от коррозии. Установлена корреляция коррозионной стойкости алюминиевой металлизации с методом напыления, температурой отжига, а также с его легированием различными примесями. Установлено, в частности, что алюминиевая

металлизация, легированная 1% кремния, является более коррозионнотстойкой, а использование подслоя Al с 1% Ni повышает коррозионную устойчивость приборов [8,9].

Целью настоящей работы было исследование коррозионной стойкости алюминиевой металлизации на пластинах ИМС после операций вжигания металлизации и надрезки.

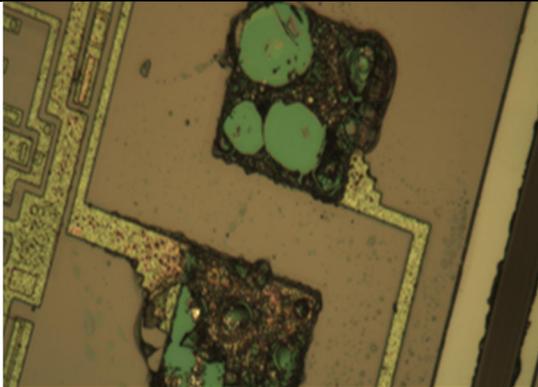
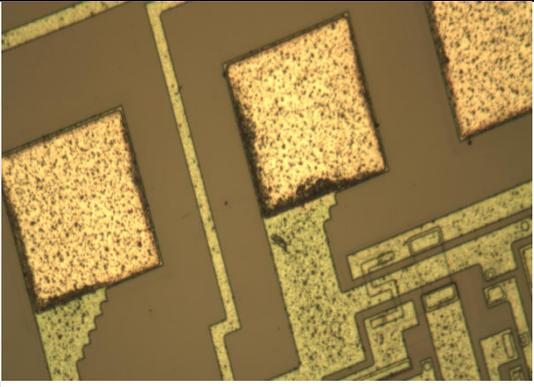
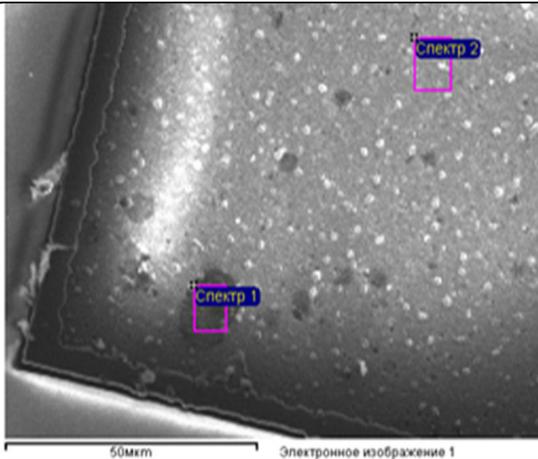
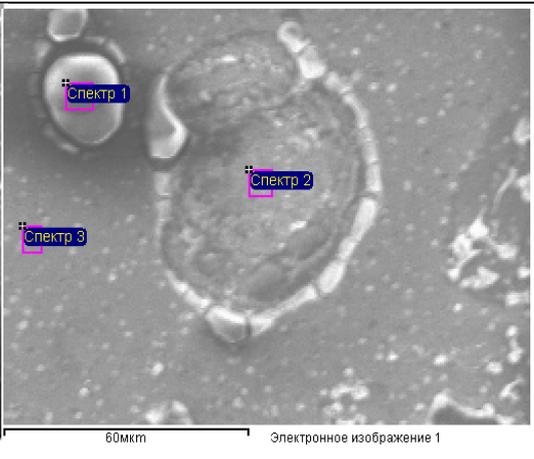
Для создания агрессивной среды использовалась камера влаги, которая позволяет создать среду с заданными температурой и относительной влажностью. Испытания на воздействие повышенной влажности воздуха проводились в специальной камере влаги по методу 207-2 ОСТ 11 073.013-2008 [7]. Испытания проводились без покрытия лаком и без электрической нагрузки при температуре 55 °С в течении 7 суток при относительной влажности 93 %. Коррозионные поражения детектировались с помощью оптического микроскопа. Контроль наличия коррозии производился по характерным признакам коррозионного поражения, описанных в ГОСТ 27597-88 [10]. Испытания проводились на образцах с разной топологией и с разными режимами вжигания металлизации. Области коррозии подвергались анализу с помощью растрового электронного микроскопа с приставкой энерго-дисперсионного микроанализа. РЭМ позволяет получать изображение анализируемых участков во вторичных электронах, а приставка – определять элементный состав анализируемых участков. Было исследовано влияние операции надрезки пластин (технологическая операция, служащая для разделения пластин ИМС на отдельные кристаллы). После испытаний в камере влаги на образцах до и после надрезки, но без дополнительной химической обработки наблюдались следы коррозии, а именно, наличие точечной, локальной и сплошной коррозии алюминиевой металлизации и элементный состав проросших участков показан в таблице 1.

Спектральный анализ в коррозионных областях в таблице 1 показал наличие таких химически активных элементов, как F, Na, P, Cl, K, Ca, Fe. Пластины, подвергнутые технологической операции надрезки, имеют в своем спектральном анализе повышенное содержание углерода, а также более сильные признаки коррозии контактных площадок. Это означает, что технологическая операция надрезка вносит дополнительные органические загрязнения. При термообработке в окислительной среде при температурах 400 - 600°С на поверхности алюминия вырастает пленка  $Al_2O_3$ , толщина которой описывается параболической зависимостью от времени [11,12]. Константа параболического окисления зависит от температуры, среды, состояния поверхности, а также от наличия примесей в Al. Нами определялась толщина защитной пленки  $Al_2O_3$ , образующаяся на операции вжигания Al при температуре 450-500°С в течение 10 - 30 мин. Определение толщины пленки  $Al_2O_3$  проводилось методом взвешивания на микровесах

$$d(Al_2O_3) = \frac{\rho(Si)d(Si)}{\rho(Al_2O_3)(1-\alpha)} \cdot \frac{\Delta P}{P_0}, \quad (1)$$

где  $P$  - изменение начального веса  $P_0$  кремниевой пластины толщиной  $d(Si)$  с тонкой алюминиевой пленкой ( $d(Al) \ll d(Si)$ );  $\rho(Si)$  и  $\rho(Al_2O_3)$  - удельный вес Si и  $Al_2O_3$ , соответственно;  $\alpha = M(Al)/M(Al_2O_3)$ ,  $M(Al)$  и  $M(Al_2O_3)$  – атомный и молекулярный веса Al и  $Al_2O_3$ , соответственно. Толщина выросшей пленки  $Al_2O_3$  найдена около 400 Å.

Таблица 1

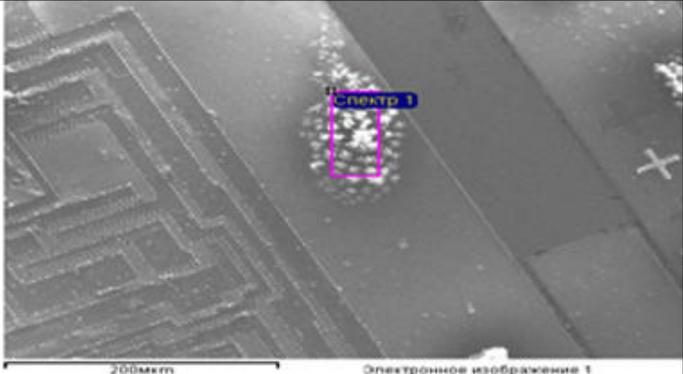
Техн. метод Операц. анализ	Операция “надрезка”	Без операции “надрезка”																																																				
Оптический микроскоп																																																						
Растровый электронный микроскоп																																																						
Энерго-дисперсионный микроанализ (выделенных областей)	<table border="1" data-bbox="408 1395 922 1514"> <thead> <tr> <th>Спектр</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>F</th> <th>Na</th> <th>Al</th> <th>Si</th> <th>Cl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Спектр 1</td> <td>20</td> <td>7,8</td> <td>1,5</td> <td>0,3</td> <td>70</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>Спектр 2</td> <td>1,7</td> <td>1,3</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>97</td> <td>0,5</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Спектр	C	O	F	Na	Al	Si	Cl	Спектр 1	20	7,8	1,5	0,3	70	0,3	0,4	Спектр 2	1,7	1,3	-	-	97	0,5	-	<table border="1" data-bbox="963 1395 1485 1552"> <thead> <tr> <th>Спектр</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>F</th> <th>Al</th> <th>Si</th> <th>Cl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Спектр 1</td> <td>4,24</td> <td>55,1</td> <td>-</td> <td>29,2</td> <td>-</td> <td>11,5</td> </tr> <tr> <td>Спектр 2</td> <td>4,03</td> <td>24</td> <td>-</td> <td>60</td> <td>10,2</td> <td>1,71</td> </tr> <tr> <td>Спектр 3</td> <td>5,64</td> <td>4,94</td> <td>0,83</td> <td>88,6</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Спектр	C	O	F	Al	Si	Cl	Спектр 1	4,24	55,1	-	29,2	-	11,5	Спектр 2	4,03	24	-	60	10,2	1,71	Спектр 3	5,64	4,94	0,83	88,6	-	-
Спектр	C	O	F	Na	Al	Si	Cl																																															
Спектр 1	20	7,8	1,5	0,3	70	0,3	0,4																																															
Спектр 2	1,7	1,3	-	-	97	0,5	-																																															
Спектр	C	O	F	Al	Si	Cl																																																
Спектр 1	4,24	55,1	-	29,2	-	11,5																																																
Спектр 2	4,03	24	-	60	10,2	1,71																																																
Спектр 3	5,64	4,94	0,83	88,6	-	-																																																

Эта пленка является защитной от коррозии металлизации. Однако в присутствии загрязнений происходит нарушение сплошности защитной пленки  $Al_2O_3$ . Особенно опасно попадание хлора, поскольку ионы хлора участвуют в реакции и освобождаются, являясь катализатором, что соответствует следующим типовым химическим реакциям [3]:



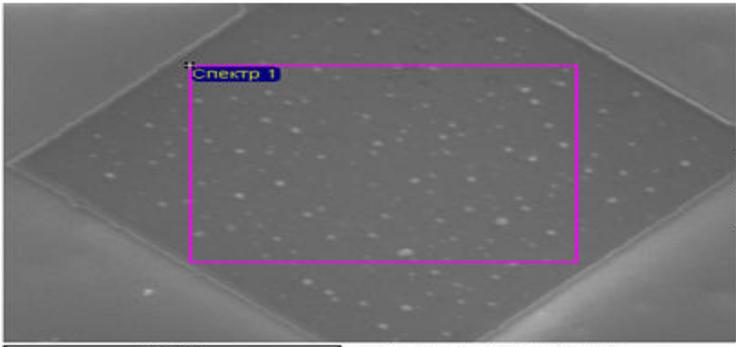
Было выдвинуто и промоделировано предположение, что наличие большинства наблюдаемых посторонних элементов, в полученных спектрах связано с загрязнениями, вносимыми человеком.

Таблица 2

Изображение, полученное с помощью РЭМ		Результаты элементного анализа						
	Спектр	C	N	O	Na	Si	Cl	K
	Спектр 1	17,3	3,54	39,7	5,66	22,2	8,11	3,42

Было исследовано влияние химической обработки в перекисно-аммиачном растворе с добавлением триаммонийной соли оксиэтилен дифосфоновой кислоты  $C_2H_{17}N_3O_7P_2$  (ТАС). Пластины с ИМС с надрезкой и без надрезки после химической обработкой в растворе ТАС показали устойчивость к коррозии после испытаний (таблица 3).

Таблица 3

Изображение, полученное с помощью РЭМ		Результаты элементного анализа			
	Спектр	C	O	Al	
	Спектр 1	1,41	0,88	97,71	

Таким образом, можно сделать следующие выводы: Наличие загрязнений является причиной появления коррозионных участков на металлизации, то есть процесс коррозии является химически активационным процессом. Состав загрязнений показывает, что наиболее вероятным источником загрязнений является человек, и введение процесса обработки кристаллов ИМС в растворе ТАС до процесса герметизации корпусов

микросхем позволит улучшить коррозионную стойкость алюминиевой металлизации, что служит дополнительной защитой герметизированной ИМС

#### Библиографический список

1. Горнев Е.С., Денисова Л.А., Мартынов В.И., Миллер Ю.Г. Исследование коррозионной стойкости внутрисхемной разводки интегральных схем // Электронная техника. Сер.8. 1981. Вып. 4(90). С. 28-30.
2. Волков С.И., Григорашвили Ю.Е., Полякова Е.В. Моделирование коррозионных отказов интегральных схем // Электронная техника. Сер. 8. 1981. Вып. 4 (90). С. 24-27.
3. Зенин В.В., Каданцев И.А., Спиридонов Б.А., Чистяков С.Ю. Методы испытаний коррозионной устойчивости полупроводниковых изделий // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. 2009. Т. 5. №6. С. 4-6.
4. Зенин В.В., Каданцев И.А., Спиридонов Б.А. Физико-Химические процессы в микросоединениях полупроводниковых изделий // ВГТУ. Воронеж: 2003.
5. Русанова А.Л., Глудкин О.П., Абрамов С.В. Методология ускоренной оценки влагостойкости маломощных интегральных схем с учетом требований, предъявляемых к их сохраняемости и ресурсу.
6. Зенин В.В., Спиридонов Б.А. Коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевой металлизации // Наука – производству. 2006. №5(91) с.96-98.
7. ГОСТ РВ 20.57.416-98 “Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы испытаний”; ГОСТ 20.57.406-81 “Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний”; ОСТ 11 073.013-2008 “Микросхемы интегральные. Методы испытаний”.
8. Спиридонов Б.А., Фоменко Ю.Л., Зенин В.В. Исследование коррозионной стойкости алюминиевой металлизации полупроводниковых кристаллов.// Твердотельная электроника и микроэлектроника: Межвузовский сборник научных трудов. Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2003. с. 41-46.
9. Зенин В.В., Каданцев И.А., Спиридонов Б.А. Исследование коррозионной устойчивости двухслойной алюминиевой металлизации контактных площадок кристаллов силовых полупроводниковых приборов.// Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. 2011. №1. с. 164-166.
10. ГОСТ 27597-88 “Изделия электронной техники. Метод оценки коррозионной стойкости”.
11. J. M. Eldridge. Corrosion problems of metal conductor lines in integrated circuits. Inst. Phys. Conf.Ser. №57. 1981. p. 211-224.
12. D.W. Aulmore, B. Sc., S. J. Gregg, D. Sc, F.R.I.C., and W.B. Jepson, B.Sc., Ph.D., A.R.I.C. The oxidation of Aluminium in Dry Oxygen in the temperature range 400-650°C. Journal of the Inst. of Met. 1959-1960. Vol. 82. p.205-208.