

## Влияние имплантации ионов кремния на анодное поведение пленок алюминия

*Х.М. Карежеев, А.М. Сохроков*

*Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова, Нальчик*

**Аннотация:** Приводятся основные результаты исследований анодного поведения и химического состава поверхностного слоя пленки алюминия до и после имплантации ионов кремния (20 кэВ), проведенных с использованием метода измерений потенциостатических поляризационных кривых. Показано уменьшение токов анодной поляризации и расширение области пассивации в зависимости от дозы внедряемых ионов, обусловленное формированием окисных соединений с участием имплантированной примеси кремния.

**Ключевые слова:** имплантация ионов, пленки, алюминий, поляризационные кривые, потенциостат, анодное поведение, электронные спектры Оже, электролит, ионы кремния.

### Введение

В интегральных схемах основным материалом для металлизации являются пленки алюминия.

Одним из недостатков металлизации из чистого алюминия является их электрохимическая коррозия, обусловленная влагой в корпусах интегральных схем, что является причиной значительной доли отказов токоведущих дорожек [1-3].

В связи с последним обстоятельством, значительный интерес представляет применение методов, позволяющих получить металлические пленки для металлизации с более высокими эксплуатационными свойствами.

Для повышения надежности алюминиевой металлизации применяют многослойные пленки металлов [4-5] и сплавы алюминия [6-7].

В отличие от объемного легирования, метод ионной имплантации позволяет вводить заданное количество любого элемента в поверхностный слой металлов и получить коррозионно-стойкие поверхностные слои металлов с повышенной надежностью [8].

Особенности протекания коррозионно-электрохимических процессов определяются, в основном, составом и структурой поверхностных слоев

---

металлизации, поэтому также представляет интерес исследования закономерностей воздействия имплантации ионов кремния на анодное поведение пленок алюминия.

Однако в литературе не встречаются упоминания об исследовании влияния имплантации ионов кремния на анодное поведение и состояние поверхности пленок алюминия.

Основная цель приведенной работы – это исследование влияния имплантации ионов кремния на анодное поведение и состав поверхностных слоев пленки алюминия.

### **Материалы и методы**

Процесс напыления пленок алюминия на подложки монокристаллических кремниевых пластин, радиусом 38 мм, осуществляли в вакуумной камере, методом термического испарения алюминия А-999.

Имплантация ионов кремния в поверхность пленки алюминия производилось с энергией 20 кэВ, дозой  $5 \cdot 10^{15}$  и  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>

Для измерений потенциостатических поляризационных кривых полученных в растворе электролита 0,1М NaOH с применением трехэлектродной электрохимической ячейки, использовался потенциостат П-5827М.

Состав поверхности пленок алюминия до и после имплантации ионов кремния исследовалась на установке электронной оже-спектроскопии, снабженной устройством для послойного травления образцов пучком ионов аргона, с плотностью тока в диапазоне 1–20 мкА·см<sup>-2</sup>.

### **Результаты и обсуждение**

Потенциостатические поляризационные кривые представляющие зависимость плотности тока  $I$  (А/см<sup>2</sup>) от потенциала электрода  $E$  (В (х.с.э.)) пленок алюминия в водном растворе 0,1М NaOH показаны на рис. 1.

---

Исходная пленка алюминия (рис. 1. (кривая 1)) активно растворяется в диапазоне от  $-1,6$  до  $-1,2$  В (х.с.э.), и скорость растворения увеличивается с увеличением анодной поляризации.

Алюминий плавно переходит в пассивную область, в узком диапазоне потенциалов от  $-1,2$  до  $-0,5$  В (х.с.э.), где анодный ток существенно не зависит от изменения значения потенциала. Это указывает на формирование анодной пленки на поверхности электрода.

В работах [9, 10] экспериментально установлено, что процесс роста анодного окисла алюминия в растворах едкого натрия характеризуется образованием барьерного и пористого слоев.

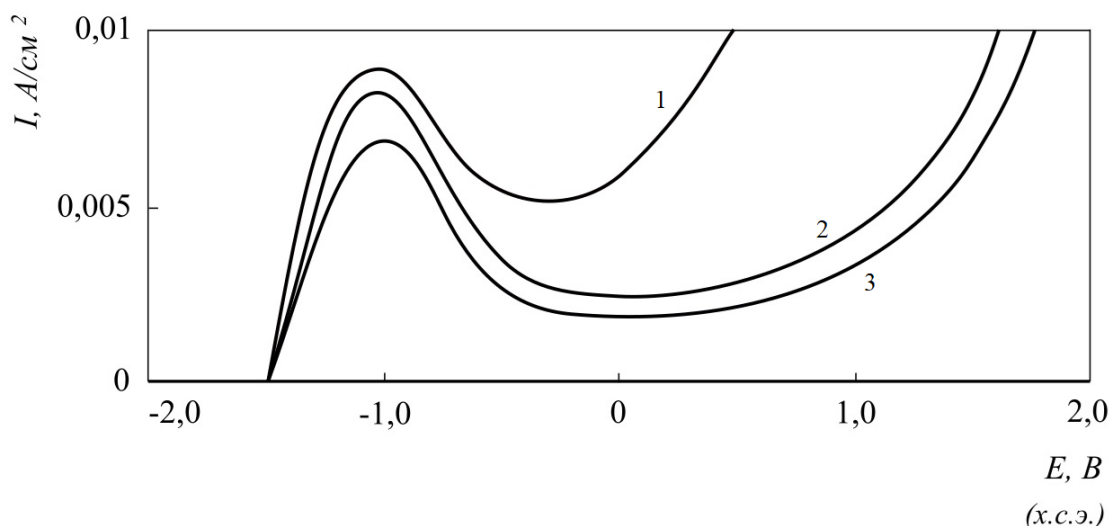


Рис. 1. – Формы потенциостатических поляризационных кривых исследуемого приповерхностного слоя пленок алюминия (снятых в среде  $0,1\text{M NaOH}$ ) до введения ионов кремния (1) и после, имплантированных с энергией  $20$  кэВ, при дозах следующих значений ( $\text{см}^{-2}$ ):  $5 \cdot 10^{15}$  (2);  $10^{16}$  (3)

Наиболее значительное различие анодного поведения пленки алюминия, до и после имплантации ионов кремния, наблюдались в области перехода от активного растворения к пассивному состоянию в области значений потенциалов от  $0,5$  до  $1,3$  В (х.с.э.).

Имплантация ионов кремния в поверхностный слой алюминия дозой  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ , приводит к значительному снижению плотности тока пассивной области по сравнению с не имплантированным образцом.

При этом, смещение интервала значений потенциала пассиваций от 0,5 до 1,3 В (х.с.э.) в положительном направлении, свидетельствует о том, что поверхностный слой с высоким содержанием кремния оказывает сильное влияние на состав анодной пленки (рис. 1 (кривая 2)).

Особенно существенно, что имплантация ионов кремния  $10^{16} \text{ см}^{-2}$  в пленке алюминия вызывает тенденции снижения плотности тока анодной пассивации при потенциале  $-0,5 \text{ В}$  (х.с.э.) (рис. 1 (кривая 3)).

Возможным объяснением наблюдаемого эффекта является то обстоятельство, что передача значительной кинетической энергии заряженных потоков ионов кремния атомам пленки алюминия создают термодинамические условия формирования структурной модификации поверхностного слоя, обуславливающий процесс повышения электронной проводимости окисла при одновременном снижении ее ионной проводимости.

Исследования, проведенные методом электронной оже-спектроскопии, показали особенности изменения состава поверхности пленок алюминия, до и после имплантации ионов кремния и их электрохимической поляризации.

В оже-спектре (рисунок 2 (а)) исходных пленок алюминия наблюдали характерные линии элементов: алюминия (67,5 эВ), углерода (272 эВ), кислорода (506 эВ) и окисла алюминия (35 и 52 эВ).

В процессе травления ионами аргона выявлено, что имплантированные ионы кремния (оже-пик с энергией 92 эВ), дозой  $10^{16} \text{ см}^{-2}$  распределены в приповерхностной области исследуемой пленки алюминия на глубине, составляющим  $100 \text{ \AA}$  (рис.2 (б)).

---

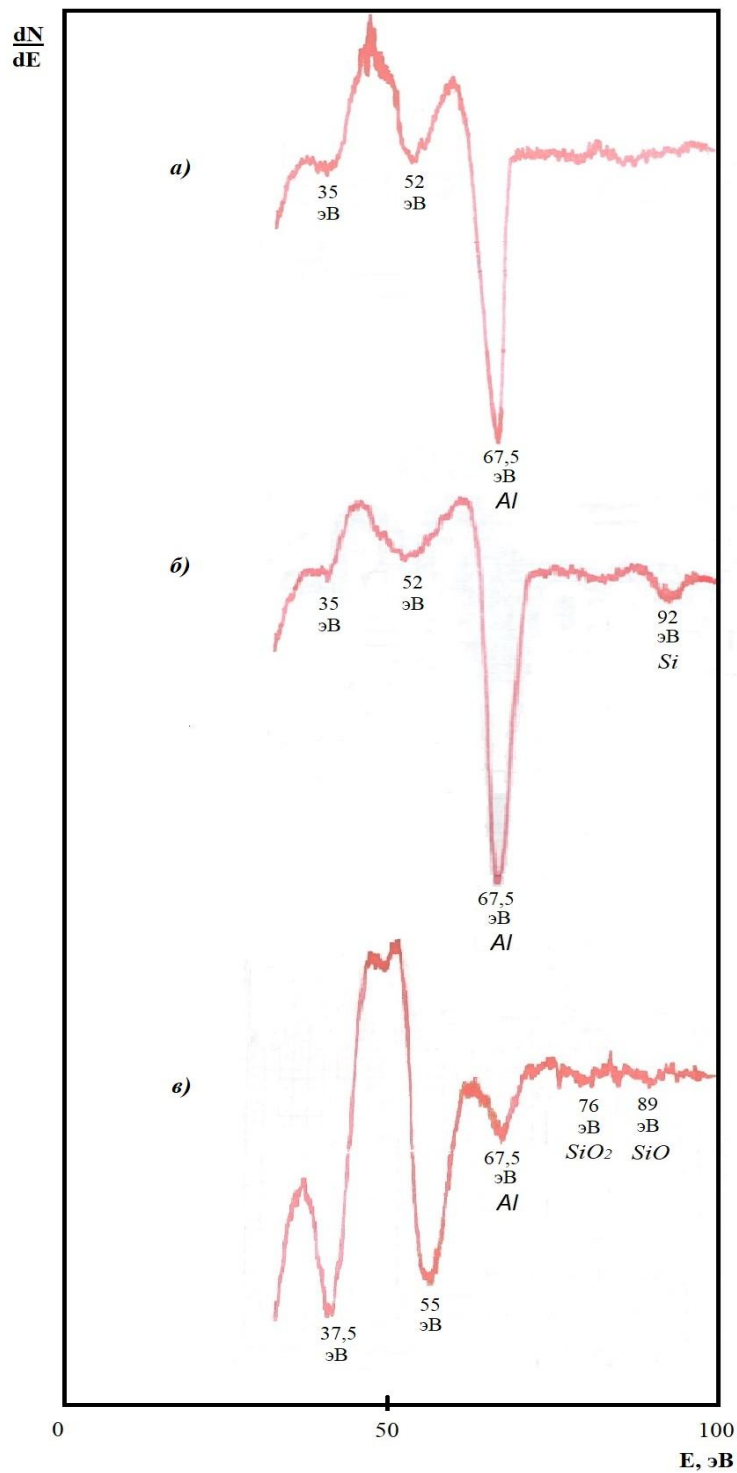


Рис. 2. – Оже-спектры пленки алюминия до (а), после имплантации ионами кремния (б) и их последующей анодной поляризации (в)

На рисунке 2(в) приведен оже-спектр анодного окисла сформированной анодной поляризацией в водном растворе 0,1М NaOH, на

поверхности пленок алюминия имплантированных ионами кремния дозой  $10^{16} \text{ см}^{-2}$ .

Из рисунка видно, что в состав анодного окисла входят элементы, обуславливающие оже-переходы оксидом алюминия (37,5 и 55 эВ), алюминием (67,5 эВ), двуокисью кремния (76 эВ) и окисью кремния (89 эВ).

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о формировании анодного окисла различного состава на пленках алюминия до и после имплантации ионов кремния.

Сравнение закономерностей изменения анодного поведения и состава поверхностного слоя пленок алюминия до и после имплантации ионов кремния позволяют заключить, что процесс торможения электрохимической реакции окисления при увеличении концентрации легирующей примеси обусловлен образованием анодного окисла алюминия с участием примеси кремния.

### **Заключение**

Полученные в настоящей работе экспериментальные результаты позволяют сделать вывод, что с ростом концентрации ионов кремния, имплантированных в поверхность пленок алюминия, существует закономерность уменьшения плотности анодного тока и смещения потенциала пассивации к положительным значениям.

Показано, что состав анодного окисла в пленках алюминия обусловлен формированием в электрохимическом процессе соединений оксидов алюминия и имплантированной примеси кремния.

### **Литература**

1. Фатеев Ю.Ф., Дубоглазов В.А., Фролов В.Д., Иванова С.А. Коррозия алюминия в полупроводниковых приборах // Электронная техника. 1980. Вып. 6(84). С. 31-37.



2. Русанова А.Л. Исследование коррозии металлизации и разработка модели времени до отказа ИС // Электронная техника. 1983. Вып. 2(101). С. 65-70.
  3. Волюнов Н.Н., Лодыгин Е.А., Назарова Г.С. Электрохимическое воздействие рентгеновского облучения и влаги на кремниевые планарные транзисторы // Электронная техника. 1983. Вып. 2(161). С. 103-106.
  4. Kamoshida K., Makino T., and Nakamura H. Preparation of low-reflectivity Al-Si film using dc magnetron sputtering and its application to multilevel metallization. // Journal Vacuum Science and Technology B: Microelectronics Processing and Phenomena 3. 1985. Vol.3. No.5. pp. 1340-1345.
  5. Hoffman V. High rate magnetron sputtering metallizing semiconductor devices. // Journal Solid State Technology, 1976, Vol.19. No.12. pp. 57-66.
  6. Muraka S.P. Interactions in metallization systems for integrated circuits. // Journal Vacuum and Technology B, 1984, Vol. 2, №4, pp. 693-706.
  7. Боринец И.Д., Пирцхалава Т.Ш., Чхеидзе И.Н. Получение пленок алюминия, легированного кремнием для металлизации ИС и изготовления ДШ // Вопросы микроэлектроники и физики полупроводниковых приборов. Тбилиси: 1980. С. 123.
  8. Диденко А.Н., Лигачев А.Е., Куракин И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 183 с.
  9. Томашов Н.Д., Тюкина М.Н., Заливалов Ф.П. Толстослойное анодирование алюминия и его сплавов. М.: Машиностроение. 1968. 156 с.
  10. Филяк М.М., Каныгина О.Н. Кинетика роста пленок анодного оксида алюминия // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. №9(184). С. 207-211.
-

## References

1. Fateev Yu.F., Duboglazov V.A., Frolov V.D., Ivanova S.A. Elektronnaya tekhnika. 1980. Vyp. 6(84). pp. 31-37.
2. Rusanova A.L. Elektronnaya tekhnika. 1983. Vyp. 2(101). pp. 65-70.
3. Volyunov N.N., Lodygin E.A., Nazarova G.S. Elektronnaya tekhnika. 1983. Vyp. 2(161). pp. 103-106.
4. Kamoshida K., Makino T., and Nakamura H. Journal Vacuum Science and Technology B, 1985. Vol.3. No.5. pp. 1340-1345.
5. Hoffman V. Journal Solid State Technology, 1976, Vol.19. №12. pp. 57-66.
6. Muraka S.P. Journal Vacuum and Technology, 1984, Vol. 2, №4., pp. 693-706.
7. Borinets I.D., Pirskhalava T.Sh., Chkheidze I.N. Voprosy mikroelektroniki i fiziki poluprovodnikovyykh priborov. Tbilisi: 1980. p. 123.
8. Didenko A.N., Ligachev A.E., Kurakin I.B. Vozdeystvie puchkov zaryazhennykh chastits na poverkhnost' metallov i splavov [Effect of charged particle beams on the surface of metals and alloys]. M.: Energoatomizdat, 1987. 183 p.
9. Tomashov N.D., Tyukina M. N., Zalivalov F. P. Tolstosloynoe anodirovanie alyuminiya i ego splavov [Thick-layer anodizing of aluminum and its alloys]. M.: Mashinostroenie. 1968. 156 p.
10. Filyak M.M., Kanygina O.N. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. №9 (184). pp. 207-211.