

Е. Н. ГАЛЕНКО¹, С. А. ШАРКО²

¹УО МГПУ им. И. П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

²ГО «НПЦ по материаловедению» (г. Минск, Беларусь)

ЗАРОЖДЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЁВ ЗОЛОТА НА ПОДЛОЖКАХ КРЕМНИЯ

Как известно, тонкие слои золота в единицы-десятки нанометров обладают высокой степенью оптической прозрачности [1]. С другой стороны, они, в отличие большинства металлов, не подвержены окислению на воздухе и в среде сильных окислителей. Это предопределяет их использование в различных областях микроэлектроники, оптоэлектроники и магнитофоники в качестве функциональных слоёв и защитных покрытий. В связи с этим актуальной является задача получения наноразмерных слоёв золота высокого качества, что подразумевает их высокую термическую стабильность, гладкость и сплошность при сохранении оптической прозрачности. С этой точки зрения весьма выгодным оказался метод ионно-лучевого напыления.

В этой работе показано, что применение данного метода с дополнительной операцией напыления и последующего распыления нанометрового слоя золота позволяет добиться высокого качества наноразмерных слоёв золота на кремниевых подложках.

Для напыления использовались подложки кремния, предварительно очищенные от посторонних поверхностных примесей в течение 120 с пучком ионов кислорода энергией менее 0,3 кэВ и плотностью тока пучка 0,1...0,15 мА/см².

Слои золота толщиной несколько десятков нанометров получались путем распыления мишени золота ионами кислорода с энергией 1,5...1,6 кэВ и плотностью тока ионов 0,1...0,25 мА/см² в вакууме не хуже 0,2 Па как с применением дополнительной операции напыления/распыления, так и без нее. Дополнительная операция производилась перед напылением основного слоя на подложку и состояла в напылении слоя золота толщиной 2...4 нм в течение 2...3 минут и последующем его распылении ионами кислорода с энергией менее 0,3 кэВ и плотностью тока 0,1...0,15 мА/см² до исчезновения металлической проводимости.

Измерения электрического сопротивления образцов, проведенные с помощью линейного четырёхзондового метода [2], показали, что удельное сопротивление уменьшается, как с увеличением толщины слоя (рисунок 1), так и при использовании дополнительной операции напыления/распыления (таблица 1).

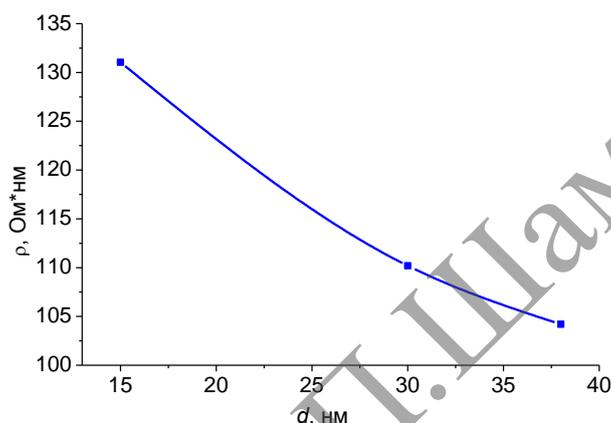


Рисунок 1. – Зависимость удельного сопротивления ρ от толщины d слоя золота

Таблица 1.– Значения толщины d , сопротивления ρ наноразмерных слоёв золота, а также среднеарифметической R_a и среднеквадратической R_z шероховатости их поверхности в зависимости от условий и времени напыления

| Время напыления, с | Параметры слоёв золота | Режимы получения | |
|--------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | | Без дополнительного распыления | С дополнительным распылением |
| 60 | d , нм | | 7,54 |
| | ρ , Ом·нм | | 110,54 |
| | R_a / R_z | | 0,2 / 0,3 |
| 120 | d , нм | | 15,08 |
| | ρ , Ом·нм | | 131,04 |
| | R_a / R_z | | 0,1 / 0,2 |
| 240 | d , нм | | 30,152 |
| | ρ , Ом·нм | | 110,2 |
| | R_a / R_z | | 0,3 / 0,4 |
| 300 | d , нм | 34,42 | 37,69 |
| | ρ , Ом·нм | 128,73 | 104,02 |
| | R_a / R_z | 0,2 / 0,2 | 0,2 / 0,2 |

Результаты исследований поверхности образцов методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью сканирующего зондового микроскопа NanoEducator, показали, что включение дополнительной операции напыления наноразмерного слоя золота и его последующего распыления приводит к улучшению качества поверхности, о чем свидетельствует снижение шероховатости поверхности (таблица 1).

Для объяснения формирования качественного слоя металла на поверхности при использовании дополнительной операции напыления/распыления наноразмерного слоя золота следует учесть, что в указанных выше условиях ионного распыления на поверхность подложки падает поток распыленных атомов золота, в котором условно выделяют три группы частиц. Более 80 % наиболее медленных атомов золота в потоке имеют среднюю энергию примерно 2 эВ, менее 15 % – примерно 5 эВ и около 5 % атомов золота характеризуются энергией более 12 эВ. Эта последняя группа атомов способна внедряться в приповерхностный слой подложки на глубину до пяти постоянных кристаллической решетки, что сравнимо с толщиной естественно нарушенного слоя, и создавать там точечные дефекты. При количестве этих дефектов менее 10 % от поверхностной плотности материала подложки не происходит ухудшения исходного качества поверхности подложки и ее основных свойств. Внедренные атомы золота приводят к улучшению адгезии из-за формирования дополнительных физических связей внедренный атом золота – осажденный атомом золота. Повторное осаждение слоя золота в указанных выше условиях позволяет не менее чем в два раза увеличить число внедренных атомов золота, дополнительно усиливающих адгезионную связь.

Таким образом, метод ионно-лучевого напыления в сочетании с дополнительной операцией напыления /распыления позволяет получать оптически прозрачные проводящие слои золота толщиной единицы – десятки нанометров высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Получение методом ионно-лучевого распыления кислородом и оптические свойства ультратонких пленок золота / А. И. Стогний [и др.] // Журнал технической физики. Том 73. – 2003. – № 6. – С. 86–89.
2. Четырехзондовый метод измерения электрического сопротивления полупроводниковых материалов : учеб.-метод. пособие по спецпрактикуму “Физика полупроводниковых материалов и приборов” для студентов физического факультета ; под редакцией Н.А. Поклонского. – Минск : Белгосуниверситет; 1998. – 46 с.