

Контроль толщины, оптических и электрофизических свойств металлических плёнок, применяющихся в полупроводниковой технологии

Гладышева Н. Б., Гуськов Б. Л., Завадский Ю. И., Концевой Ю. А.

При использовании специально разработанной эллипсометрической программы определены коэффициенты преломления и коэффициенты экстинкции плёнок платины, золота, никеля, алюминия и титана при длине волны 0,6328 мкм. Прозрачные и толстые непрозрачные плёнки наносились на полированную поверхность стеклянных подложек, вторая поверхность которых была матовой. Определены диапазоны толщин плёнок, которые можно измерять эллипсометрическим методом. Определено удельное сопротивление некоторых плёнок в зависимости от их толщины.

Технология нанесения плёнок

Использовались термический и магнетронный методы нанесения плёнок. Рабочее давление аргона при магнетронном нанесении составляло $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. При термическом методе нанесение плёнок начиналось при остаточном давлении $2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Плёнки наносились на полированную поверхность стекла, вторая поверхность которого была матовой. Одновременно плёнки напылялись на пластины-спутники из ситалла в виде тестовых структур размером 3×15 мм² (5 «квадратов»). На этих тестовых структурах определялось поверхностное сопротивление $R_{\text{пов.}}$ (Ом/квадрат) и после определения толщины плёнок d находили их удельное сопротивление, используя соотношение $\rho_{\text{пл.}} = R_{\text{пов.}} \cdot d$.

Методика определения толщины плёнок

Толщина плёнок определялась при использовании специально разработанной программы «Эллипс-3» (рис. 1).

The screenshot shows a software window with the following fields and controls:

- Угол падения исходного луча (градусы): 70
- Выбор структуры: КНС, Общий случай
- Начальная толщина слоя 1 (ангстрем): 10
- Шаг изменения толщины (ангстрем): 10
- Показатель преломления слоя 1 (n1): 2.3
- Коэффициент экстинкции слоя 1 (k1): 3.5
- Показатель преломления подложки (n2): 1.51
- Имя файла с расчётом: (empty field)
- Buttons: Произвести расчёт, Выход

Рис. 1

Вывод на экран компьютера эллипсометрической программы для пользователя

В отличие от ранее разработанной программы «Эллипс-2», позволяющей определять параметры прозрачных плёнок на поглощающей подложке [1], указанная в настоящей статье программа «Эллипс-3» обеспечивает возможность определять параметры поглощающих излучение плёнок, расположенных на прозрачной подложке.

Используя картину (рис. 1) на экране компьютера, устанавливают угол падения, задают большую начальную толщину и предполагаемые значения оптических параметров для металлической плёнки. При нажатии окна «Произвести расчёт» в формате Excel выдаются 40 значений эллипсометрических углов ψ и Δ , изменяющихся в зависимости от оптических свойств и толщины металлических плёнок. Варьируя значения n и k , находят те значения указанных параметров, при которых теоретически определённые углы для «толстой» плёнки $\psi_{\text{теор.}}$ и $\Delta_{\text{теор.}}$ совпадают, по крайней мере, с точностью до градуса с экспериментально измеренными углами $\psi_{\text{эксп.}}$ и $\Delta_{\text{эксп.}}$.

Далее, проводя аналогичные измерения для «тонкой» плёнки, установив заданную начальную толщину (например 10 ангстрем), используя найденные значения оптических параметров плёнки, находят её толщину.

Были построены теоретические зависимости эллипсометрических углов $\psi_{\text{теор.}}$ и $\Delta_{\text{теор.}}$ от толщины плёнок для плёнок титана, никеля, золота, платины и алюминия. В качестве примера подобные значения для плёнок платины приведены на рис. 2 и рис. 3.

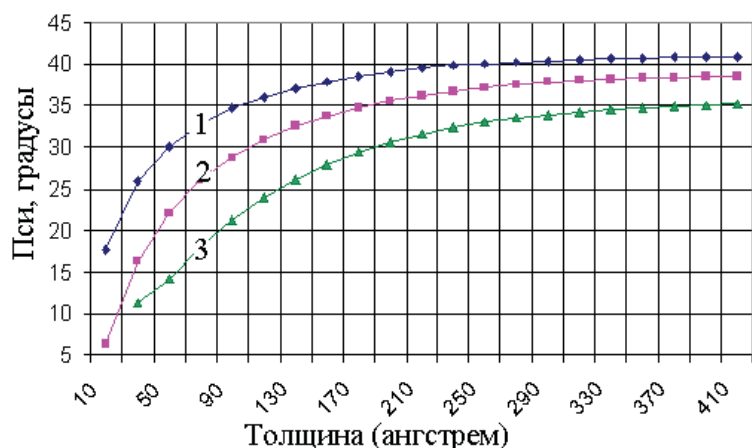


Рис. 2

Зависимость параметра $\psi_{\text{теор.}}$ от толщины плёнки платины ;
углы падения: 1 - 50° , 2 - 60° , 3 - 70°

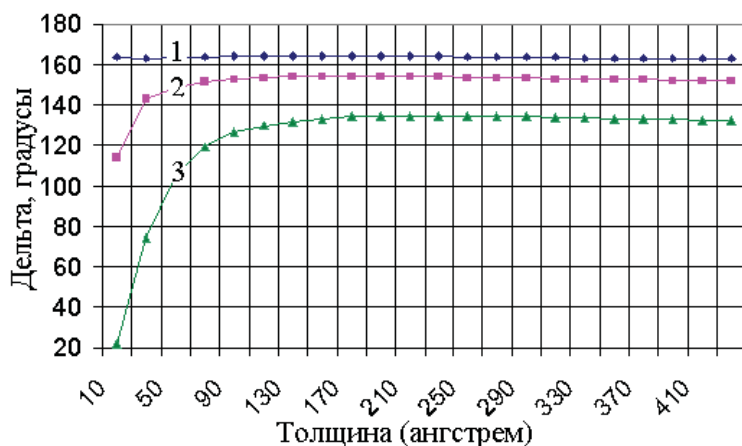


Рис. 3

Зависимость параметра $\Delta_{\text{теор.}}$ от толщины плёнки платины ;
углы падения: 1 - 50° , 2 - 60° , 3 - 70°

Из рис. 2 и рис. 3 видно, что параметр $\psi_{\text{теор.}}$ сильно меняется в зависимости от толщины плёнки при толщине плёнки менее 100 ангстрем, а при толщине плёнки более 350 ангстрем практически не меняется. Параметр $\Delta_{\text{теор.}}$ практически не изменяется при толщине плёнки более 100 ангстрем, а при угле падения луча лазера на образец 50° этот параметр почти не меняется при любых толщинах плёнки. Таким образом, «толстая» плёнка – это плёнка толщиной (для разных металлов) порядка 200-400 ангстрем. Для таких плёнок влиянием отражения на границе со второй средой, на которую нанесена плёнка, можно пренебречь.

Оптические и электрические параметры плёнок

Найденные параметры для плёнок разных металлов приведены в таблице.

Таблица

Параметры плёнок

Материал пленки	Платина	Титан	Золото	Никель	Алюминий
Показатель преломления	2,3	2,4	0,3	1,7	0,4-0,6
Коэффициент экстинкции	4,8	3,1	3,25	3,6	6,0-6,1
Толщина тонких пленок, нм	11; 26	10-12; 24-28	36	6,5-7,0	-
Удельное сопротивление, Ом см		$(2,2-3,7) \cdot 10^{-4}$ при толщинах 11- 24 нм;		$1,4 \cdot 10^{-4}$ При толщине 7 нм	

Удельное сопротивление чистых массивных образцов титана $42 \cdot 10^{-6}$ и образцов никеля $6,14 \cdot 10^{-6}$ [2]. Таким образом, удельное сопротивление плёнок титана примерно в 5-9 раз выше, чем удельное сопротивление чистых массивных образцов титана. Удельное сопротивление плёнки никеля толщиной 7 нм примерно в 23 раза выше, чем удельное сопротивление чистых массивных образцов никеля, что соответствует известному факту повышения удельного сопротивления тонких плёнок по сравнению с удельным сопротивлением чистых массивных образцов [3]. Определение удельного сопротивления тонких плёнок может быть полезным при определении влияния технологических факторов, например, содержания кислорода, или загрязняющих факторов при нанесении плёнок.

Выводы

1. Разработана удобная программа, позволяющая при использовании экспериментально найденных эллипсометрических углов $\psi_{\text{эксп.}}$ и $\Delta_{\text{эксп.}}$ находить толщину и оптические параметры металлических плёнок.

2. Найдены значения показателя преломления и коэффициента экстинкции при длине волны 0,6328 мкм для плёнок Pt, Ti, Au, Ni и Al.

3. Показано, что определять эллипсометрическим методом толщину указанных плёнок можно в диапазоне от 1 нм до 20-40 нм.

4. На примере плёнок титана и никеля показано, что, измеряя дополнительно поверхностное сопротивление плёнок, можно определять их удельное сопротивление. В частности, для плёнок титана и никеля их удельное сопротивление примерно в 5-23 раза выше, чем удельное сопротивление чистых массивных образцов указанных металлов.

Литература

1. Гуськов Б. Л., Завадский Ю. И., Концевой Ю. А. Усовершенствование эллипсометрических методов контроля полупроводниковой технологии. - Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы, 2007, вып. 2, с.35-40.
2. Физические величины. Справочник. / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. - М.: Энергоатомиздат, 1991, гл. 2.
3. Физика тонких плёнок. / Под общей ред. М. Х. Франкомба и Р. У. Гофмана. Пер. с англ. под ред. В. В. Сандомирского и А. Г. Ждана. - М.: МИР, 1973, т. 6, гл. 2.