



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **103404**

(13) **C2**

(51) МПК

G01N 27/02 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2012 01373**

(22) Дата подання заявки: **09.02.2012**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **10.10.2013**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **13.05.2013, Бюл.№ 9**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.10.2013, Бюл.№ 19**

(72) Винахідник(и):

**Качер Ігор Емануїлович (UA),
Ласлов Гейза Елемірович (UA),
Пилипко Михайло Михайлович (UA)**

(73) Власник(и):

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ
ЗАКЛАД "УЖГОРОДСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ",
вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, 88000 (UA)**

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

US 2659861 A, 17.11.1953
US 2659862 A, 17.11.1953
US 3735254 A, 22.05.1973
US 5691648 A, 25.11.1997
US 4667149 A, 19.05.1987
JPS 6370102 A, 30.03.1988
KR 20110043067 A, 27.04.2011
RU 2109276 C1, 20.04.1998

(54) СПОСІБ IN SITU ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ТОВЩИНИ ПЛІВОК

(57) Реферат:

Винахід належить до матеріалознавства, а більш конкретно до контролю електропровідності плівок та їх товщини електричними методами і може бути застосований при виробництві пліткових напівпровідникових приладів. Визначення питомого опору плівок здійснюють за допомогою чотирьох рівновіддалених зондів, а товщини i -ї плівки d_i за допомогою крайнього i п'ятого зондів встановлених поряд по величині опору R_i , ρ_i плівки та геометричних розмірах плівкового елемента. Перевага заявленого способу в тому, що вимірювання електропровідності та товщини плівок може бути здійснено одночасно і неперервно на одному пристрої.

UA 103404 C2

Винахід належить до області матеріалознавства, зокрема до контролю електропровідності плівок та їх товщини електричними методами і може бути застосований при виробництві плівкових напівпровідникових приладів.

Відомі *in vivo* та *in situ* способи визначення питомого опору плівкових матеріалів [1, 2]. Згідно з цими способами плівкові об'єкти розміщують в вимірювальний блок електрофізичного вимірювального приладу і вимірюють величину падіння напруги і струму за допомогою 4 рівновіддалених електродів. По їх відношенню та параметрам зразка визначається питомий опір плівки. Для вимірювання електропровідності нанометрових металевих плівок, нанесених на діелектричні підкладки, вирішувалася зворотне завдання за допомогою методу, заснованого на використанні частотної залежності коефіцієнта відбивання електромагнітного випромінювання від досліджуваної структури в НВЧ-діапазоні, при цьому товщина нанометрової плівки визначалася за допомогою атомно-силового мікроскопу. При цьому для вимірювання товщини нанометрових діелектричних плівок використовувався метод інтерферометри [2], в якому товщина обмеженої діелектричної плівки визначається за величиною фазового зсуву, що виникає на межі області чиста підкладка і підкладка з нанесеною плівкою між електромагнітними хвилями оптичного діапазону, відбитими від підкладки і плівки. Показник заломлення нанометрових діелектричних плівок визначається по частотній залежності коефіцієнта пропускання досліджуваної структури у видимому діапазоні, яка характеризується наявністю інтерференційних максимумів, положення яких визначається товщиною і показником заломлення нанометрової плівки.

Недоліками способів [1, 2] є те, що контроль електропровідності та товщини плівок здійснюється різними методами, як правило *in vivo* і не враховується зміна структури та питомої електропровідності плівок від їх товщини, особливо в області малих товщин на початкових стадіях їх росту. Товщина плівок d визначається по екстремумам відбивання (або пропускання) плівки. Згідно способу при досягненні інтерференційного екстремуму відбивання (або пропускання) здійснюють контроль товщини, а вимірюванням струму пропускання і падіння напруги між зовнішніми електродами визначають загальний питомий опір при даній товщині плівок і багатошарових структур. При оптичних інтерференційних методах контроль товщини має дискретний характер (здійснюється по екстремумах інтерференції), мінімальна товщина плівки обмежена першим екстремумом, або товщиною плівки рівною $\lambda/4$ і товщина плівки є інтегральною характеристикою градієнтної структури. Дослідження фоточутливих плівкових матеріалів приводить до спотворень результатів дослідження електропровідності.

Найбільш близький до запропонованого є спосіб *in situ* визначення електрофізичних параметрів та товщини плівок [3], який включає вимірювання попередньо нанесеними на підкладку рівновіддаленими чотирма зондами питомого опору плівки і визначення питомого опору для першого шару як $\rho_1 = AU/I$, де A - константа, U - спад напруги між внутрішніми електродами, I - струм протікання. На поверхню підкладки попередньо наносять рівновіддалені срібні електроди, а контроль нанотовщин плівкових конденсатів здійснюється за допомогою атомно-силового мікроскопу (АМС). Згідно способу питомий опір наносимого шару визначається як $\rho = AU/I$, де A - константа, U - спад напруги між внутрішніми електродами, а I - струм протікання.

Застосування способу [3] обмежене як правило режимом *in vivo*, необхідністю використання двох різних методик, причому визначення питомого опору плівок може здійснюватися в реальному режимі часу лише для одношарових плівок, оскільки контроль питомого опору і товщини багатошарових покриттів ускладнюється при збільшенні числа шарів. Дослідження атомно-силовим мікроскопом (АСМ) потребують значний час, обмежені малими атомарними товщинами плівок і необхідністю використання дорогого обладнання.

Задача винаходу полягає в збільшенні продуктивності, розширення діапазону контролю кількості і товщин плівок.

Поставлена задача вирішується таким чином, що спосіб *in situ* визначення електрофізичних параметрів та товщини плівок, який включає вимірювання попередньо нанесеними на підкладку рівновіддаленими чотирма зондами питомого опору плівки і визначення питомого опору для першого шару як $\rho_1 = AU/I$, де A - константа, U - спад напруги між внутрішніми електродами, I - струм протікання, який відрізняється тим, що додатково наноситься ще один зонд і вимірювання питомого опору і товщини шарів плівок здійснюється попередньо нанесеними на підкладку п'ятьма зондами, а величина питомого опору послідовних шарів визначається по закону суми обернених опорів

$$1/\rho_i = 1/\rho_1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{1}{\rho_j} \right)$$

де: ρ - сумарний усереднений питомий опір плівкової структури,

ρ_i - питомий опір i -го шару

і визначення товщини i -ї плівки d_i здійснюють за допомогою крайнього і п'ятого зондів, встановлених поряд по величині опору R_i , ρ_i , плівки та геометричних розмірах плівкового елемента по формулі

$$d_i = d - B \left[\sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{\rho_j}{R_j} \right) \right]$$

де: d - загальна товщина плівки,

B - константа, яка визначається геометричними розмірами плівкового елемента,

R_i - опір i -ї плівки.

Запропонований спосіб визначення електропровідності плівок та їх товщини від відомого [3] відрізняється тим, що даний спосіб пасивний, дає можливість здійснювати одночасно неперервний контроль електрофізичних властивостей плівок і їх товщини, які залежать від типу основи, матеріалу плівки та її товщини і технології її нанесення. Також контролюються і зміни параметрів плівок при різного виду обробках (термічному та іонному відпалі та інше), що оптимізує технологічні умови виготовлення плівкових елементів.

Результати вимірювань дозволять коректувати товщини та матеріали плівок та їх параметри в процесі технологічного нанесення нано- та мікроструктур.

Спосіб визначення електрофізичних параметрів та товщини плівок пояснюється прикладами.

Приклад 1. Виготовлено підкладку з лейко сапфіру з нанесених термічним напиленням 5 контактів міді. На неї проведено лазерне напилення плівки CuInSe_2 .

Результати досліджень товщинних залежностей питомого опору плівок CuInSe_2 при температурах підкладки в процесі напилення 373K, 473 і 573K приведені на Фіг.1.

Приклад 2. На поверхню слюди нанесено термічним напиленням 4 рівновіддалені контакти алюмінію і зміщений відносно 4-го електроду п'ятий. На даний елемент нанесено плівки CuInS_2 . Результати досліджень конденсатів CuInS_2 приведені при температурах підкладки в процесі напилення 373K, 473 і 573K приведено на Фіг.2.

Перевага даного способу полягає в тому, що вимірювання електропровідності та товщини плівок може бути здійснено одночасно і неперервно на одному пристрої з використанням найчутливіших і найпрактичніших електрофізичних методик і може бути автоматизоване. Спосіб може бути використаний також при дослідженні контактних явищ і фотопровідності. Контроль нанотовщин плівок легко здійснюється при імпульсних методиках напилення по контролю кількості імпульсів.

Спосіб може бути використаний при розробках технології багато плівкових елементів і для вибіркового аналізу плівкових матеріалів.

Джерела інформації:

1. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. - М.: Высшая школа. - 1987г. - 240 стр.

2. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, А.В. Абрамов, Али Бакуи, А.С. Боголюбов. Измерение параметров нанометровых пленок оптическими и радиоволновыми методами. - Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА. - № 3, Т. 83. - 2010. - С. 44-50.

3. F. Song, J. W. Wells, K. Handrup, Z. S. Li, S. N. Bao, K. Schulte, M. Ahola-Tuomi, L. C Mayor, J. C Swarbrick, E. W. Perkins, L. Gammelgaard, Ph. Hofmann. Direct measurement of electrical conductance through a self-assembled molecular layer./ Nature Nanotechnology - V. 4. - 2009. - p. 373-376. - Прототип.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб *in situ* визначення електрофізичних параметрів та товщини плівок, який включає вимірювання попередньо нанесеними на підкладку рівновіддаленими чотирма зондами питомого опору плівки і визначення питомого опору для першого шару як $\rho_1 = AU/I$, де A - константа, U - спад напруги між внутрішніми електродами, I - струм протікання, який **відрізняється** тим, що додатково наносять ще один зонд і вимірювання питомого опору і товщини шарів плівок здійснюють попередньо нанесеними на підкладку п'ятьма зондами, а величина питомого опору наступних шарів визначається по закону суми обернених опорів:

$$1/\rho_i = 1/\rho_1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{1}{\rho_j} \right),$$

де: ρ - сумарний усереднений питомий опір плівкової структури,

ρ_i - питомий опір i -го шару

і визначення товщини i -ї плівки d_i здійснюють за допомогою крайнього і п'ятого зондів, встановлених поряд по величині опору R_i , ρ_i , плівки та геометричних розмірах плівкового елемента за формулою:

5

$$d_i = d - B \left[\sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{\rho_j}{R_j} \right) \right],$$

де: d - загальна товщина плівки,

B - константа, яка визначається геометричними розмірами плівкового елемента,

R - опір i -ої плівки.

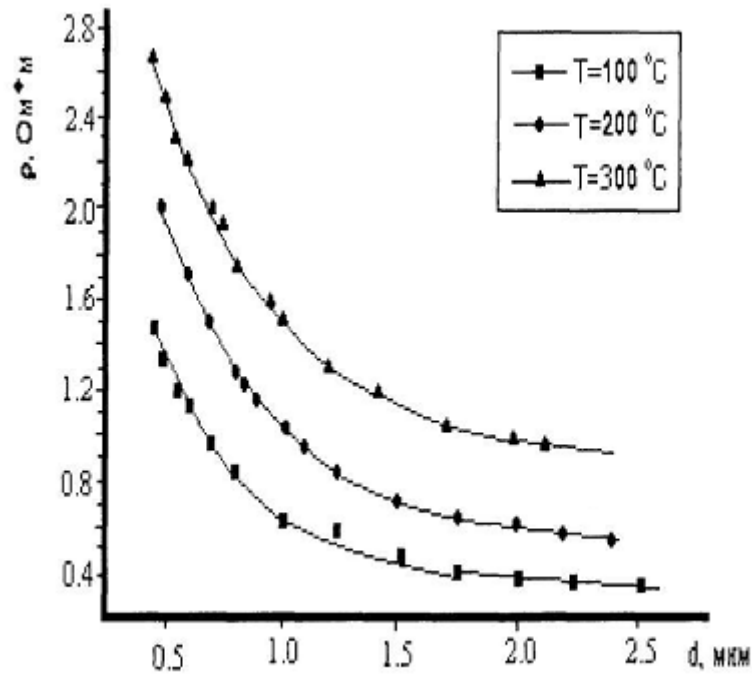


Fig. 1

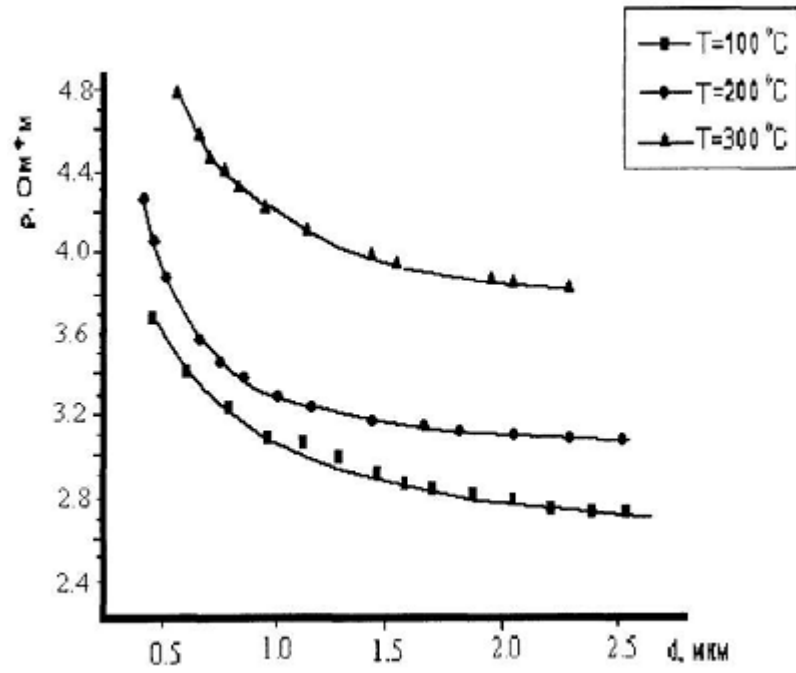


Fig. 2

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601