



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 117304

(13) C2

(51) МПК

A61B 5/0478 (2006.01)

A61N 1/04 (2006.01)

G01N 27/30 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2016 13384	(72) Винахідник(и):	Сніжко Дмитро Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки:	26.12.2016	(73) Власник(и):	ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.07.2018	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	US 4959130 A, 25.09.1990 UA 104519 C2, 10.02.2014 CN 101881748 A, 10.11.2010 US 5380422 A, 10.01.1995 BY 17448 C1, 30.08.2013 CN 105203607 A, 30.12.2015 SU 1055467 A1, 23.11.1983 SU 1648357 A1, 15.05.1991
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.05.2017, Бюл.№ 10		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.07.2018, Бюл.№ 13		

(54) УЛЬТРАМІКРОЕЛЕКТРОД І СПОСІБ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

(57) Реферат:

- Об'єкт винаходу. Ультрамикроелектрод і спосіб його виготовлення.
- Галузі застосування - електрохімія, аналітична хімія, медицина, біологія, екологія, харчова промисловість, фармакологія, сільське господарство.
- Суть винаходу: полягає у використанні при виготовленні ультрамикроелектродів додаткового процесу витягування, що забезпечує зменшення робочої поверхні менші за розміри поперечного перетину мікродрота, який застосовується при виготовленні ультрамикроелектрода.
- Технічний результат. Підвищення співвідношення сигнал/шум мікроелектрода, зниження фонових струмів, зменшення розмірів робочої поверхні, збереження технологічності конструкції виготовлення ультрамикроелектрода.

UA 117304 C2

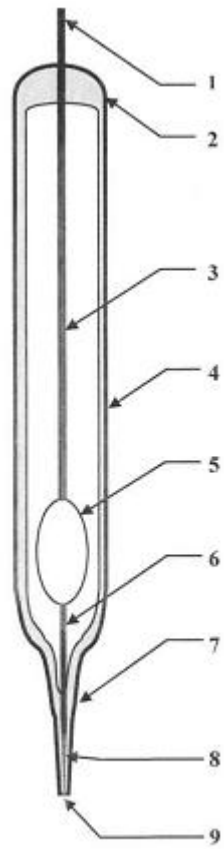


Fig. 1

Винахід належить до процесу виробництва електродів, зокрема мікроелектродів.

Мікроелектродами називається група електродів, що характеризується робочою поверхнею з одним чи більш розмірів у кілька мікрометрів. Геометрія поверхні мікроелектродів може бути різноманітною відповідно до потреб, чи технологічних процесів виготовлення. Термін "ультрамікроелектрод" застосовується в електрохімічній аналітиці до мікроелектродів, що характеризуються переважним проявом сферичної дифузії електрогенерованих на електроді речовин над лінійною дифузією, що характерна для електродів великих розмірів.

Особливостями мікроелектродів є висока швидкість встановлення стаціонарного режиму фарадеевських процесів на електроді, збільшення відношення фарадеевських процесів до ємнісних процесів подвійного електричного шару, що створюється на електроді, необхідність компенсації омичного падіння напруги у вимірній комірці зменшується у наслідку малих струмів відгуку мікроелектрода, мала паразитна ємність мікроелектрода дозволяє здійснювати дуже швидко поляризацію електрода, збільшення відношення сигнал-шум у порівнянні зі звичайними електродами більш великих розмірів досягається вимірюваннями у стаціонарному режимі, який більш швидко встановлюється на мікроелектродах, ніж на макроелектродах, зменшення розмірів робочої ділянки електрода дозволяє пропорційно зменшити об'єм зразка, що може досліджуватися. Отже, зменшення розмірів робочої поверхні електрода є функціонально важливим задля отримання принципово нових властивостей від електрода, як інструментарію для аналітичних досліджень.

Зменшення розмірів робочої поверхні електрода до субмікронних та нанорозмірів значно підсилює прояв зазначених ефектів, тому є теоретично та практично цікавим питання розробки відповідної простої технології виготовлення таких електродів. При виробництві електродів з надмалими електродними поверхнями на перше місце виходить питання їх технологічної простоти реалізації. Ультрамікроелектроди з різноманітними матеріалами робочої поверхні вже відомі. Такі ультрамікроелектроди, наприклад, описані в наступних літературних посиланнях: Brina, R. Ultramicroelectrode sensors and detectors: Considerations of the stability, sensitivity, reproducibility, and mechanism of ion transport in gas phase chromatography and in high performance liquid phase chromatography [Текст] / R. Brina, S.Pons, M. Fleischmann // J. of Electroanal. Chem. and Interf. Electrochem.,-1988. - Vol. 244, Iss. 1-2. - P. 81-90. Stulik, K. Microelectrodes. Definitions, Characterization, and Applications [Текст] / K. Stulik, C. Amatore, K. Holub, V. Marecek, W. Kutner // Pure Appl. Chem.,-2000. - Vol. 72, No. 8-P. 1483-1492.

Спосіб виготовлення мікроелектродів базується на застосуванні мікродроту, що розташовується у ізольованому корпусі. Розмір робочої поверхні формується геометрією мікродроту, що застосовується при виготовленні. Зменшення розміру мікродроту менш декількох мікрометрів є вкрай складним технологічним процесом. Мікроелектроди виробляються наступним чином: кінець скляної трубки витягують у капіляр та в капіляр втягують провід або нитку з благородного металу або склоуглецю. Потім дріт запаюється в скляній трубці при її розігріві. Товщина ізоляційного шару з епоксидної смоли або скла не перевищує декількох міліметрів. Виробництво рівномірної товщини ізоляційного шару по всій довжині електрода не потрібне, оскільки частіш за все інтерес представляють процеси на торці мікроелектрода, тобто на границі між неізолюваною ділянкою дроту на запаяному кінці мікроелектрода та розчином, до якого частково занурюється електрод у процесі роботи. (Мікроелектрод та спосіб його виготовлення [Текст]: патент України № 104519: МПК G01N 27/30 (2006.01)/ Сніжко Д.В., Рожицький М.М., Бендеберя Г.М.; Власник: Харківський національний університет радіоелектроніки. - № а201211996, заяв. 10.02.2014, опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.-4 с).

Іншим способом виготовлення електрода є вкриття епоксидною смолою провідника. Для чого провідник вкривається ізоляційним шаром шляхом розпилювання чи занурення у епоксидну смолу чи резину. Або здійснюється формування корпусу у формі шляхом заливки форми епоксидною смолою чи резиною. Попередньо у формі закріплюється мікродріт. (Wang, J. Analytical Electrochemistry [Текст] / J. Wang. - Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2006.-250 p.).

Недоліками виготовлення мікроелектродів зазначеними способами, що наведені у зазначених вище посиланнях, полягає у неможливості або вкрай високої складності реалізації електродів з субмікронними розмірами. Оскільки робота з надтонким мікродротом обумовлює високі ризики розриву мікродроту під час технологічних операцій, що зумовлює брак при виробництві електрода. Механічна міцність такого мікродроту теж мала, це ускладнює або унеможливорює використання деяких процесів для виготовлення електрода. Наприклад, занурення мікродроту у ізоляційний розчин (смоли), для створення захисного покриття, та створення таким чином мікроелектрода. Також ускладнено його використання як самонесучого електрода у наслідку малої механічної міцності.

Найбільш близькими до запропонованого винаходу є спосіб і мікроелектрод, що описані нижче (Мікроелектрод та спосіб його виготовлення [Текст]: патент України № 104519: МПК G01N 27/30 (2006.01)/ Сніжко Д.В., Рожицький М.М., Бендеберя Г.М.; Власник: Харківський національний університет радіоелектроніки. - № а201211996, заяв. 10.02.2014, опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.-4 с). Спосіб виготовлення мікроелектрода шляхом запаювання мікродроту у скляний корпус, потім на мікродріт, який попередньо очищений хімічним способом, наносять металеве покриття, наприклад, з міді, після чого мікродріт поєднують з провідником за допомогою металевої гільзи, яку перетискають у двох місцях, ділянку дроту, що буде робочою поверхнею електрода, очищують шляхом занурення кінчика мікродроту до травильного розчину, після вивільнення від металу робочої ділянки мікродріт промивають та сушать, далі конструкцію мікродріт-гільза-провідник розміщують у скляному корпусі, причому один кінець провідника фіксують на кінці трубки, яка розташована вертикально, так щоб забезпечити розміщення вздовж осі симетрії корпусу, потім скляний корпус запаюють з двох кінців, причому з боку мікродроту скляний корпус запаюють у вакуумі.

Мікроелектрод, що зроблено за цим способом, містить мікродріт зі скловуглецю чи металу, що запаєний у скляному корпусі, контакт до мікродроту здійснено за допомогою провідника, який виготовлено з металу з температурним коефіцієнтом розширення еквівалентним температурному коефіцієнту розширення матеріалу корпусу, через металеву гільзу.

Виготовлення мікроелектрода можливе з застосуванням технологічних способів (Мікроелектрод та спосіб його виготовлення [Текст]: патент України № 104519: МПК G01N 27/30 (2006.01)/ Сніжко Д.В., Рожицький М.М., Бендеберя Г.М.; Власник: Харківський національний університет радіоелектроніки. - № а201211996, заяв. 10.02.2014, опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.-4 с.), однак, зазначений спосіб не дозволяє отримувати розміри робочої поверхні менші за розміри мікродроту, що використовуються при виготовленні.

Цей недолік вирішується, наприклад, за наступним способом (Ultramicroelectrode, Process for Making Same and Its Application [Текст]: патент US № 4 959 130: МПК G01N 27/30 / Josowicz M., Potje-Kamloth K.; Appl. No.:07/353,076, Publ. 25.09.1990.-10 р.), у якому виготовлення мікроелектрода здійснюють шляхом хімічної модифікації поверхні мікродроту задля забезпечення ізоляційних властивостей речовиною, що ковалентно зшивають з матеріалом мікродроту. Вказаний спосіб дозволяє виготовляти мікроелектроди з достатньо хорошими технологічними показниками, відтворювати геометричні характеристики електрода.

Однак недоліком цього способу виготовлення мікроелектрода є використання як ізолюючого матеріалу полімерних багат шарових покриттів, що є менш інертними, ніж скляні. Невеликі розміри ізолюючого покриття також обумовлюють високу паразитну ємність між електродом та робочим розчином, що відбивається на зниженні співвідношення сигнал/шум. Це призводить до потреби зменшення вказаних перешкод для досягнення високих експлуатаційних показників. Також не вирішується питання механічної міцності електрода.

В основу винаходу поставлено задачу зменшення робочої поверхні електрода до субмікронних розмірів зі збереженням технологічних показників виготовлення мікроелектрода шляхом залучення простих та ефективних технологічних процесів.

Ця задача вирішена наступним чином. В ультрамікроелектроді, що містить мікродріт з металу, що запаєний у скляному корпусі, контакт до мікродроту здійснено за допомогою провідника, який виготовлено з металу з температурним коефіцієнтом розширення еквівалентним температурному коефіцієнту розширення матеріалу корпусу, та поєднано механічно та електрично, згідно з винаходом, робоча поверхня, що утворена поперечним перерізом електрода, менша, ніж початковий переріз запаєного мікродроту, що використовують при виготовленні ультрамікроелектрода, а саме має субмікронні розміри. Причому, в ультрамікроелектроді в залежності від використаних матеріалів товщина ізоляційного шару корпусу складатиме від 0,1 до 3,0 міліметрів, мікродріт діаметром від 1 до 100 мікромметрів.

У способі виготовлення ультрамікроелектрода шляхом запаювання мікродроту у скляний корпус, мікродріт, який попередньо очищений хімічним способом, поєднують з провідником механічно та електрично за допомогою металевої гільзи, що фіксує обидва елементи, зварювання або запаювання, далі конструкцію мікродріт-провідник розміщують у скляному корпусі, з боку провідника конструкцію фіксують на кінці трубки, яка розташована вертикально, так щоб забезпечити розміщення вздовж осі симетрії корпусу, потім скляний корпус запаюють з кінця розміщення мікродроту, згідно з винаходом, здійснюють одночасно витягування цього кінця для зменшення площини робочої поверхні мікродроту, а також корпусу, що можливо завдяки термопластичності матеріалу мікродрота, для реалізації етапу витягування виконують розігрів ділянки електрода з запаєним мікродротом, після витягування обробляють переріз електрода за допомогою шліфування та полірування таким чином, щоб після шліфування, та

полірування на кінці електрода було відкрито початок конусної частини мікродроту, тобто ділянка звуження матеріалу мікродроту є зрізаним конусом, крім того, скляний корпус запаюють з обох кінців. Причому, у способі обидва елементи за допомогою металевої гільзи фіксують зварюванням, або запаюванням.

5 Відмінністю винаходу є технічна простота процесів, що використано у способі виробництва ультрамікроелектрода зі скляним корпусом. Цей спосіб реалізує конструкцію ультрамікроелектрода, яка відрізняється можливістю отримувати розміри робочої площини ультра мікроелектрода значно менші за розміри перетину мікродроту, що використовується при виробництві.

10 Використання додаткового технологічного етапу не призводить до значного ускладнення технології, оскільки в базовій технології виготовлення за якою виготовлено прототип матеріал корпусу електрода витягується на одному з етапів виготовлення. Отже залучення нового обладнання не відбувається. Завдяки цьому зберігається технологічність виготовлення конструкції ультрамікроелектрода.

15 У способі виготовлення ультрамікроелектрода додано етап додаткового витягування мікродроту. Він здійснюється після запаювання мікродроту у скляний корпус. Для реалізації етапу витягування виконується розігрів ділянки мікроелектрода з запаяним мікродротом. Це можливо здійснити, наприклад, завдяки мініатюрного нагрівача у вигляді ніхромової спіралі з внутрішнім радіусом трохи більшим за зовнішній діаметр скляного корпусу ультра мікроелектрода. Температура підбирається таким чином, щоб після швидкого розігріву за час, що не призводить до деформації або руйнації електрода, та прикладуванні невеликого зусилля, достатнього для витягування кінчика електрода та розтягування мікродроту. Разом з витягуванням корпусу завдяки термопластичності матеріалу мікродроту здійснюють витягування і матеріалу мікродроту. В місці розігріву має місце звуження матеріалу ізоляційного корпусу на мікродроту в цьому корпусі. Таким чином зменшується величина розмірів перетину мікродроту. Після витягування виконується та обробляється перетин електрода, ділянка перетину вибирається таким чином, щоб після шліфування, та полірування на кінці електрода було відкрито початок конусної частини мікродроту, тобто ділянка звуження матеріалу мікродроту.

30 Завдяки процесу витягування вдається значно зменшити розміри робочої поверхні мікроелектрода, дозволяючи виготовити ультрамікроелектрод з габаритними розмірами та достатньою механічною міцністю, яка забезпечує зручну роботу при маніпуляціях ультра мікроелектродом, як наприклад установка його у вимірну комірку або переміщення електрода у дослідному зразку.

35 Можливість у процесі виготовлення ультрамікроелектрода отримати значно меншу робочу поверхню електрода ніж діаметр мікродроту, що використовується у процесі виготовлення, дозволяє зберегти технологічність процесу виготовлення, зменшити кількість або виключити брак при виробництві, що пов'язаний з розривом мікродроту. Зменшення розмірів робочої поверхні електрода дає можливість отримати зазначені вище властивості притаманні мікроелектrodom. Таким чином можливе отримання принципово нових аналітичних характеристик для ультра мікроелектродів, спосіб виготовлення яких запропоновано.

40 За цим способом зроблено ультрамікроелектрод. Ультрамікроелектрод має скляний корпус, що забезпечує ізоляцію провідника від розчину та характеризується стійкістю електрода до хімічних і механічних впливів. Запропонована конструкція електрода дозволяє без перешкод проводити вимір сигналів, включаючи сигнали, що отримані при високих швидкостях поляризації електрода.

Запропонований мікроелектрод може виготовлятися з високою продуктивністю та високою адгезією між корпусом та провідником (мікродротом), що утворює електродну поверхню.

50 На кресленні наведена будова мікроелектрода, що виготовляється запропонованим способом, та вказані конструктивні елементи.

Запропонований мікроелектрод складається з наступних елементів (на фіг. 1): 1 - вивід електрода для підключення зовнішніх пристроїв, 2 - герметичний кінець електрода з боку контакту до зовнішніх пристроїв, 3 - електричний провідник з матеріалу, що має температурний коефіцієнт лінійного розширення еквівалентний до матеріалу корпусу, 4 - скляний корпус, 5 - ділянка з'єднання провідника з мікродротом, 6 - мікродріт з металу, 7 - ділянка звуження ультрамікроелектрода, що утворена витягуванням його кінця, 8 - ділянка додаткового витягування завареного мікродроту у скляному корпусі задля зменшення робочої поверхні мікродроту, 9 - відкрита ділянка витягнутого мікродроту, що є робочою поверхнею ультрамікроелектрода.

60 Запропонована конструкція ультрамікроелектрода має наступні ознаки.

Товщина ізоляційного шару корпусу складатиме від 0,1 до 3,0 міліметрів і мікродріт діаметром від 1 до 100 мікрметрів. Робоча поверхня мікроелектрода, що отримана після шліфування та полірування, як відкрита ділянка латерального перетину мікродроту в місці звуження, має значно менші розміри діаметру ніж мікродріт в десятки разів. При використанні малих діаметрів мікродроту можна досягти зменшення діаметру до субмікронних та нанорозмірів робочої поверхні.

З іншого кінця мікроелектрода реалізовано контактна ділянка, наприклад, як вільний від ізоляційного матеріалу провідник з діаметром від 0,1 мм з електропровідного матеріалу, що має тотожний коефіцієнт лінійного розширення з матеріалом корпусу, наприклад, ковар, платиніт, платина та інші. Або контактна ділянка до мікроелектрода може бути реалізована у вигляді кільця з матеріалу дроту, що є провідником, та яке зафіксовано термопластичною трубкою на корпусі. Або для організації контактної ділянки до мікроелектрода може використовуватися припаяна до провідника гільза з електропровідного матеріалу, переважно металу (мідь, бронза, латунь та інш.).

Запропонований спосіб виготовлення мікроелектрода складається з наступних етапів.

На першому етапі мікродріт (6) з матеріалу, що буде робочою поверхнею електрода, попередньо очищується хімічним способом, щоб видалити зовнішній шар матеріалу, який може зменшувати адгезію поверхні дроту до матеріалу корпусу (скла), чи ускладнювати з'єднання мікродроту з провідником, що застосовується як контактний вивід електрода.

На наступному етапі здійснюється поєднання мікродроту з дротом, що буде виконуватися як електричний провідник (3). Для чого може застосовуватися спосіб поєднання шляхом перетискання допоміжної гільзи в двох місцях, або спаювання мікродроту з дротом, або зварювання. Відповідно утворюється ділянка поєднання дроту з мікродротом (5).

Потім поєднана конструкція мікродріт-провідник розміщується у скляному корпусі (4). Попередньо у скляної трубки чи капіляру витягується кінчик після його розігріву та запаюється з витягнутого кінця. На даному етапі можливе точне розміщення зібраної конструкції мікродріт-провідник у скляному корпусі, та її фіксація перед подальшими етапами виготовлення ультрамікроелектрода. Можливість фіксації мікродроту у вигляді зібраної конструкції провідник-мікродріт забезпечує точну аксіальну орієнтацію конструкції під час запаювання робочого кінця ультрамікроелектрода. Тобто для отримання аксіального перетину з формою круга та попередити не аксіальне розміщення мікродроту у корпусі, що є небажаним.

Скляний корпус з розміщеним у середині мікродротом, що поєднаний з провідником підключається через відкритий кінець до вакуумного насоса за допомогою вакуумного шлангу відповідного діаметру. Після створення вакууму у середині корпусу витягнутий кінець корпусу розігрівається. За рахунок зовнішнього тиску в місті розігріву електрод здавлюється, покриваючи ізоляційним шаром з матеріалу корпусу мікродріт, у місці розігріву. Після отримання достатньої довжини запаюної ділянки кінчика (7) мікроелектрода з мікродротом у середині процес нагріву переривається та корпус електрода охолоджується.

Після охолодження знов здійснюється розігрів кінця електрода (7) з запаюним мікродротом (6) для подальшого витягування. Після досягнення температури пластичності матеріалів корпусу та мікродроту на ділянці додаткового витягування (8) здійснюється витягування шляхом прикладування невеликої сили. Наприклад, при вертикальному розташуванні корпусу здійснюється підвішування вантажу до кінця з мікродротом нижче зони розігріву.

Наступним кроком є запаювання іншого кінця скляного корпусу (2) шляхом його розігріву вище температури плавлення. Місце для плавлення обирається таким чином, щоб забезпечити наявність відкритої ділянки дроту провідника, який у наступному використовуватиметься як електричний контакт до мікроелектрода та слугуватиме для підключення зовнішніх пристроїв (1). Відповідно даний кінець оформлюють як стрижень, петля чи підпаюється до контактної гільзи, переважно металевої. Запаювання цього кінця можливо здійснювати при вакуумі в середині корпусу, це сприяє герметичному запаюванню і цього кінця електрода.

Рознесення у просторі ділянки мікродроту, що буде додатково витягнута, кінця електрода, де буде здійснюватися поєднання мікродрота з провідником, та ділянки провідника, де буде здійснено запаювання корпусу, дозволяє підіймати температуру для технологічних процесів достатньо високо не призводячи до окислення чи руйнації ані мікродроту, ані його з'єднання з провідником.

На наступному етапі кінчик електрода механічно звільняється від ізолятора шляхом його латерального перетину, шліфується та полірується для отримання відповідної якості робочої поверхні електрода (9).

Після виготовлення ультрамікроелектрода його робоча поверхня (9) може бути модифікована фізичними та/або хімічним та/або електрохімічним процесом/процесами. Як наприклад, електрохімічне осадження іншого матеріалу з розчину.

Використання корпусу з достатньо великою товщиною ізоляції зменшує паразитний емнісний зв'язок між електродом та зовнішнім середовищем, відповідно зменшуються паразитні емнісні струми при роботі з електродом, забезпечується збільшення відношення сигнал/шум, завдяки цьому. Висока напруга пробою та високий електричний опір матеріалу корпусу електрода зменшують паразитні токи витoku майже до нуля, що також позитивно відбивається на зростанні відношення сигнал/шум.

Запропонований мікроелектрод може виготовлятися з дуже маленькою електроактивною робочою поверхнею, та характеризується струмами в діапазоні пікоамперів. Може використовуватися для вимірювань в частотній області до десятків МГц.

Наведений мікроелектрод є корисним особливо в біохімічних та медичних областях, наприклад, як амперометричний або потенціометричний датчик, чи як стимулюючий електрод з високою локалізацією дії, або як електрод для кількісного аналізу, особливо для зворотної вольтамперометрії.

Сукупність цих технічних рішень дозволило підвищити чутливість та точність вимірювань способами, які використовують мікроелектроди як давачі. Збільшити співвідношення сигнал-шум, що визначає межу визначення речовин. Оскільки збільшення співвідношення сигнал-шум призводить до можливості використовувати більше підсилення у апаратному забезпеченні електрохімічного методу, отже при збереженні рівня шуму досягати більш низьким меж визначення сигналу, що безпосередньо пов'язаний з кількістю речовини, що досліджують. Таким чином досягти більш низької меж визначення, та більш високої чутливості способу визначення речовини.

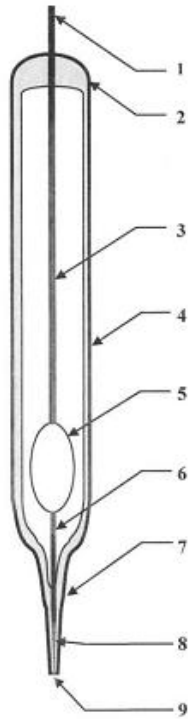
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Ультрамікроелектрод, що містить мікродріт з металу, що запаяний у скляному корпусі, контакт до мікродроту здійснено за допомогою провідника, який виготовлено з металу з температурним коефіцієнтом розширення, еквівалентним температурному коефіцієнту розширення матеріалу корпусу, та поєднано механічно та електрично, який **відрізняється** тим, що робоча поверхня, що утворена поперечним перерізом електрода, менша, ніж початковий переріз запаяного мікродроту, що використовується при виготовленні ультрамікроелектрода, а саме має субмікронні розміри.

2. Ультрамікроелектрод за п. 1, який **відрізняється** тим, що в залежності від використаних матеріалів товщина ізоляційного шару корпусу складає від 0,1 до 3,0 міліметрів, мікродріт діаметром від 1 до 100 мікрометрів.

3. Спосіб виготовлення ультрамікроелектрода шляхом запаявання мікродроту у скляний корпус, мікродріт, який попередньо очищений хімічним способом, поєднують з провідником механічно та електрично за допомогою металевої гільзи, що фіксує обидва елементи, далі конструкцію мікродріт-провідник розміщують у скляному корпусі, з боку провідника конструкцію фіксують на кінці трубки, яка розташована вертикально, так щоб забезпечити розміщення вздовж осі симетрії корпусу, потім скляний корпус запаяють з кінця розміщення мікродроту у вакуумі, який **відрізняється** тим, що здійснюють одночасно витягування цього кінця для зменшення площини робочої поверхні мікродроту, а також корпусу, що можливо завдяки термопластичності матеріалу мікродроту, для реалізації етапу витягування виконують розігрів ділянки мікроелектрода з запаяним мікродротом, після витягування обробляють переріз електрода за допомогою шліфування та полірування таким чином, щоб після шліфування та полірування на кінці електрода було відкрито початок конусної частини мікродроту, тобто ділянка звуження матеріалу мікродроту є зрізаним конусом, крім того, скляний корпус запаяють з обох кінців.

4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що обидва елементи за допомогою металевої гільзи фіксують зварюванням або запаяванням.



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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