

ДЗЕТА-ПОТЕНЦІАЛ. Переклад оригінальної статті Anton Paar

Основною метою методу дослідження поверхні макроскопічного твердого тіла, використовуючи аналіз дзета-потенціалу, є одержання даних про поверхневий заряд, який утворюється на поверхні твердого тіла при його контакті з водою. Визначення дзета-потенціалу дозволяє отримати інформацію про стан поверхні, характер взаємодії розчинених речовин з поверхнею та адсорбцію на границі рідина-поверхня.

Таким чином використання дзета-потенціалу дозволяє отримати інформацію про поведінку твердих тіл в багатьох технічних процесах, в яких рідинні системи відграють значну роль. До таких рідинних систем, зокрема, належать мембрани для очищення води, біоматеріали, що контактують з кров'ю, напівпровідникові пластини, які виготовляються шляхом випаровування з поверхні. Визначення дзета-потенціалу дозволяє покращити процеси обробки поверхні тіл, що в свою чергу покращує їх технологічні показники.

Утворення поверхневого заряду

Утворення заряду відбувається на поверхні твердого тіла, яка перебуває в контакті з розчином електроліту. Даний процес може відбуватися, як завдяки дисоціації та додаванню протона у функціональні групи, так і завдяки адсорбції іонів з розчину. Новоутворені заряди компенсуються протилежно зарядженими іонами в подвійному електричному шарі в електроліті

Утворення поверхневого заряду зумовлене перебігом хімічних реакцій у функціональних групах.

При розгляді функціональних груп, які містяться на поверхні, є необхідним розділяти кислотні та лужні функціональні групи. Кислотні групи (зокрема карбонові або сульфонові кислоти) дисоціюють при контакті з водою, тобто іон H^+ переходить у навколишнє водне середовище, а поверхня, відповідно, набуває негативного заряду. Лужні групи, як, наприклад, амінна група, протонуються при контакті з водою, тобто поверхня отримує позитивний заряд. (Рис. 1).

Рівновага дисоціації та протонування значною мірою залежить від значення рН.

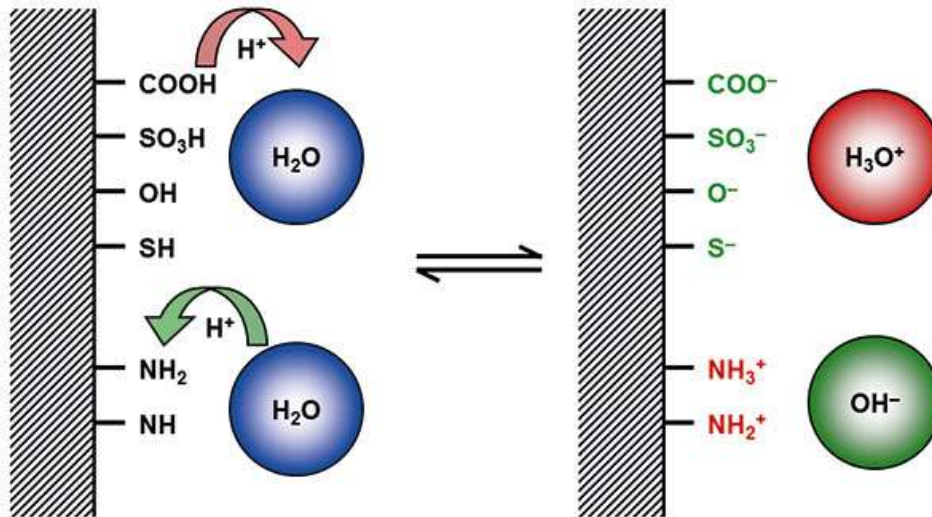


Рис.1. Схематичне представлення формування заряду на границі твердого тіла з рідиною для випадку гідрофільного матеріалу з кислотними або лужними функціональними групами на поверхні.

Утворення поверхневого заряду шляхом адсорбції

Наявність функціональних груп на поверхні не є обов'язковою умовою для формування поверхневого заряду. Для випадку, коли поверхня не має власного заряду, негативний поверхневий заряд може утворюватися за рахунок адсорбції поверхнею іонів OH^- .

Таким чином, коли рН водного середовища є нейтральним чи лужним, нейтральна поверхня стає негативно зарядженою. За низьких значень рН, коли концентрація іонів H_3O^+ стає домінуючою, нейтральні поверхні отримують позитивний поверхневий заряд. Відповідно, який заряд отримає поверхня в результаті адсорбції, залежить від величини рН (Рис.2).

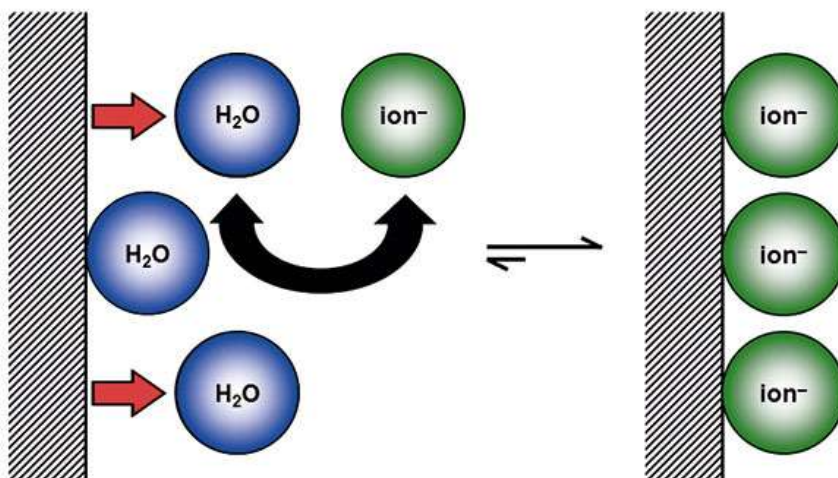


Рис.2. Схематичне представлення формування заряду на границі тверде тіло-рідина для випадку гідрофобного матеріалу без функціональних груп

Подвійний електричний шар (ПЕШ)

Процес утворення заряду на границі тверде тіло-рідина та поняття дзета-потенціалу може бути розглянуто за допомогою моделі подвійного електричного шару (ПЕШ), яка полягає в тому, що коли поверхня вступає в контакт з водним розчином, на ній формується поверхневий заряд. Відповідно даний заряд створює в навколишньому розчині поверхневий потенціал, який із збільшенням відстані від твердої поверхні зменшується за величиною.

Існування поверхневого заряду в твердому тілі призводить до перерозподілу зарядів у розчині біля границі тверде тіло-рідина. Таким чином, концентрація заряду в розчині біля поверхні стає відмінною від концентрації заряду у загальному об'ємі розчину. У моделі ПЕШ просторовий розподіл заряду в розчині представляє собою поєднання двох шарів: нерухомого, стаціонарного шару та дифузного рухомого шару, в якому знаходяться протиіони, які компенсують поверхневий заряд. Площина зсуву розділяє ці шари один від одного.

Дзета-потенціал в моделі ПЕШ визначається як різниця потенціалів між поверхнею твердого тіла та площиною зсуву (Рис.3).

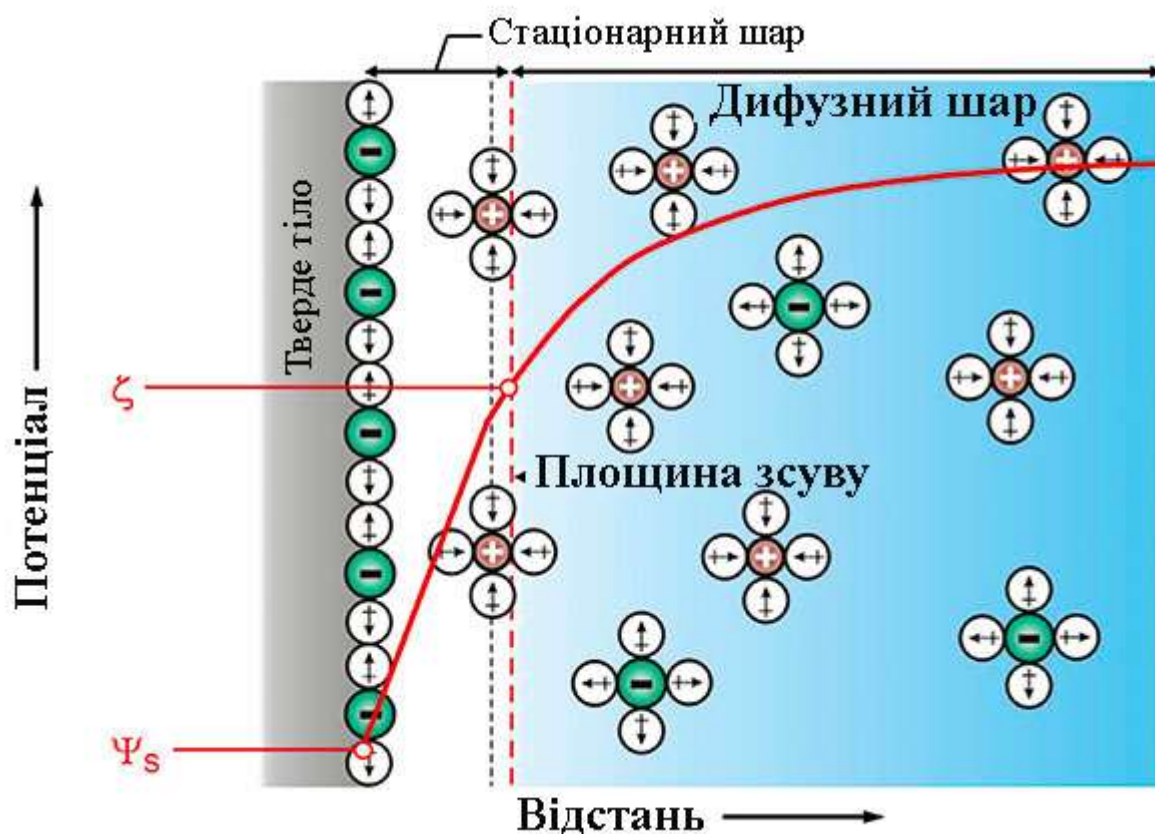


Рис.3. Модель подвійного електричного шару на границі тверде тіло-рідина (Ψ_s - потенціал поверхні, ζ - дзета потенціал)

Потенціал течії

При русі рідини відносно твердого зразка іони подвійного електричного шару зміщуються зі свого положення рівноваги та починають рухатися вздовж поверхні твердого тіла. В результаті має місце розділення зарядів, яке призводить до виникнення електрокінетичних ефектів, один з яких має назву потенціал течії. Потенціал течії (струм течії) може бути використаний для розрахунку дзета-потенціалу

Рівняння, що пов'язують потенціал течії (струм течії) із дзета-потенціалом, були отримані Германом фон Гельмгольцем та Мар'яном фон Смолуховським.

Рівняння, що використовується для розрахунку дзета-потенціалу за даними струму течії вимагає точних знань про довжину та поперечний переріз потокового каналу або, іншими словами, про точні розміри твердого зразку:

$$\zeta = \frac{dI}{dp} * \frac{\eta}{\varepsilon * \varepsilon_0} * \frac{L}{A},$$

де $\frac{dI}{dp}$ - відношення струму протікання до різниці тисків,

η - в'язкість розчину електроліту,

ε - діелектрична проникність рідини,

ε_0 - діелектрична стала,

L - довжина каналу,

A - поперечний переріз каналу.

Таким чином, вищенаведене рівняння добре підходить для визначення дзета-потенціалу плоских твердих тіл, але не підходить для розрахунку дзета-потенціалу зразків неправильної форми.

Для зразків, для яких геометрія потокового каналу є невідомою (наприклад, плоскі тіла складної форми, волокна, тканини та гранульовані зразки) використовується дещо змінене рівняння Гельмгольца-Смолуховського. Це рівняння використовує дані, одержані для потенціалу протікання та значення провідності електроліту:

$$\zeta = \frac{dU}{dp} * \frac{\eta}{\varepsilon * \varepsilon_0} * k_B$$

де $\frac{dU}{dp}$ - відношення потенціалу протікання до різниці тисків,

k_B - провідність системи, що визначається експериментально.

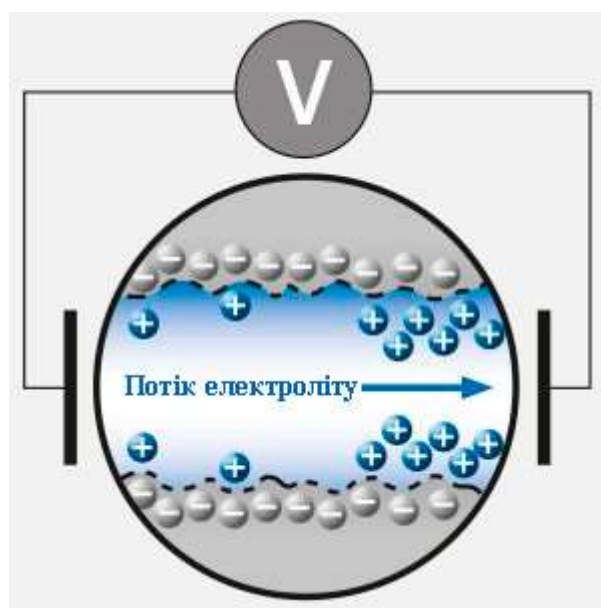


Рис.4. Потік електроліту у каналі

Вплив зовнішніх чинників на дзета-потенціал

Величина дзета-потенціалу залежить, як від характеристик твердого тіла, так і від властивостей рідкої фази, яка використовується для його вимірів. Залежність дзета-потенціалу від рН є однією з найбільш досліджених його залежностей. Визначення дзета-потенціалу дозволяє отримати цінні відомості про склад поверхні, а саме про наявність кислотних або лужних функціональних груп. Значення рН, при якому дзета-потенціал є рівним нулеві, називається ізоелектричною точкою та використовується як індикатор в хімії поверхні.

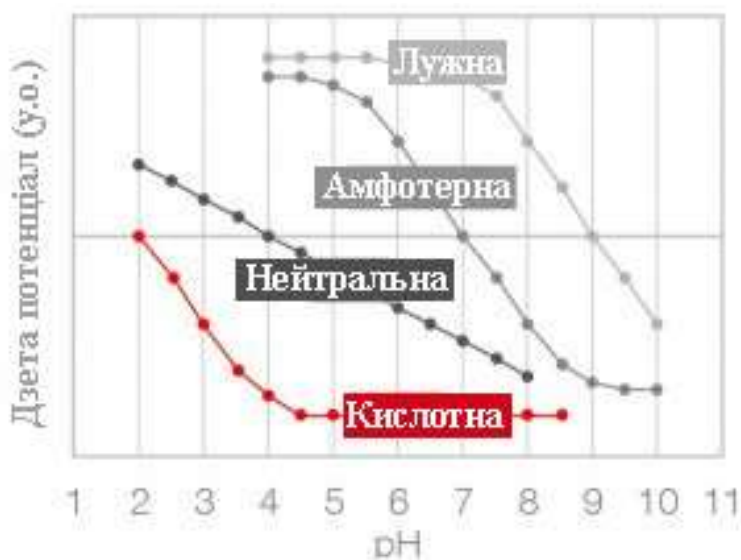


Рис.5 Залежність дзета-потенціалу від рН

Використання дзета-потенціалу для вивчення адсорбції

Оскільки дзета-потенціал є чутливим до стану поверхневого шару твердого тіла, він ідеально підходить для відстеження змін поверхневого заряду при адсорбції розчинених речовин на поверхню досліджуваного зразка. Як часова, так і концентраційна залежності протікання адсорбції, можуть бути легко досліджені шляхом спостереження за відповідними змінами потенціалу течії, струму течії чи дзета-потенціалу.

Знання про величину поверхневого заряду та його зміни в зв'язку з адсорбцією на границі твердого тіла з рідиною є важливими для покращення властивостей матеріалів та оптимізації процесів обробки поверхні. Вимірюванням дзета-потенціалу можна досліджувати зміни властивостей поверхні, які пов'язані з модифікацією, зберіганням, старінням або зношуванням під час експлуатації.

Практичні застосування

Область використання дзета-потенціалу для досліджень твердих тіл є величезною та різноманітною й включає в себе визначення характеристик мембран, дослідження біосумісності імплантатів, відстеження процесів адсорбції білків на біоматеріалах, оптимізацію процесів очищення пластин. Даний метод знаходить технологічне застосування у промисловості мийних засобів, косметики, полімерних матеріалів, мінеральних сполук та нафтовій промисловості.

Мембрани та фільтри

Поверхневий заряд є базовою величиною при дослідженні мембран, оскільки його визначення дозволяє провести аналіз стану їх поверхонь. Знання про поведінку поверхневого заряду дозволяє проводити роботи по покращенню селективності мембран, підвищити якість утримання речовин в процесі розділення та зменшити забруднення.

- Покращення якості розділення мембранами.
- Відстеження забруднення мембран за допомогою дзета-потенціалу
- Дзета-потенціал трек-травлених ПВДФ-мембран
- Оцінка ефективності фільтрування – видалення вірусів методом глибокої фільтрації.

Біоматеріали

Границя між поверхнею матеріалу та навколишньою рідиною визначає його сумісність з біологічним середовищем. Вивчення характеристик границі між фазами зазвичай вимагає окремих досліджень, як поверхні твердого тіла, так і рідкої фази.

Таким чином, перевагою досліджень з використанням дзета-потенціалу є те, що вони дозволяють отримати інформацію безпосередньо про міжфазну границю тверде тіло-рідина. Більше того, вони дозволяють зрозуміти взаємодію білків у розчині та на поверхні біоматеріалів і, тим самим, допомагають покращити біосумісність імплантатів.

- Обробка внутрішньої поверхні мембран для гемо діалізу
- Модифікація властивостей з використанням самозбірних моношарів

Косметика і поверхнево-активні речовини

Результати досліджень з визначення дзета-потенціалу можуть бути використані для покращення розуміння впливу засобів догляду за волоссям (шампунь і кондиціонер) на волокна волосся. Розуміння причин різної поведінки незайманого або підбіленого волосся є основою для покращення складу косметичних засобів.

- Вплив відбілювання на потенціал течії людського волосся.

Полімери та композити

Для отримання покращених полімерів та фіброармованих пластиків з певними поверхневими властивостями (змочуваність, здатність до використання в друкарській справі, здатність до адгезії) використовуються різні методи обробки, такі як обробка полум'ям, коронний розрядом або метод плазмової активації. Це призводить до утворення на їх поверхні функціональних груп, які мають певний заряд. Вимірюючи дзета-потенціал поверхні даних полімерів цей поверхневий заряд можна ефективно визначити та провести оцінку процедур обробки.

- Формування заряду на полімерних поверхнях
- Від інертного до "активного" моніторингу поверхневої обробки
- Поверхні зі здатністю до самодезинфекції: кореляція між антибактеріальною активністю та дзета-потенціалом
- Модифікація поверхні плівок Kapton®

Напівпровідникові матеріали

Дотримання умов чистоти при виробництві напівпровідникових матеріалів, виявлення крокових домішок та їх видалення під час процедур очищення є одним з найважливіших питань під час здійснення цих технологічних процесів. Лише забезпечення цих вимог дає можливість гарантувати подальшу належну роботу напівпровідникових виробів. Перевага використання вимірювань дзета-потенціалу з цією метою полягає в оптимізації, так званих, вологих хімічних процесів, таких як хіміко-механічна планаризація (ХМП), для забезпечення видалення ХМП суспензій з поверхні напівпровідника. Таким чином, знання поверхневого заряду відповідного напівпровідника має важливе значення. Крім того, вимірювання дзета-потенціалу є корисними для визначення якості осаджених СЗМ (самозбірних моношарів).

- Визначення оксидного шару на пластинах нітриду кремнію

Волокна та тканини

Контроль поверхневого заряду натуральних та технічних волокон має важливе значення для якісного перебігу різних технологічних процесів, зокрема, таких як чищення та відбілювання бавовняних волокон. Визначення поверхневого заряду також відіграє важливу роль при подальшому застосуванні барвника або медичних волокон/тканини в якості марлі. Підвищена поверхнева сумісність технічних волокон, таких як скло- або вуглеволокно, для їх використання в якості армуючих матеріалів для полімерних матриць досліджується вимірюванням дзета-потенціалу.

- Моніторинг ефективності прання забарвлених бавовняних тканин
- Оптимізація систем калібрування обробки скла

Данна стаття є перекладом на українську оригінальної статті (<https://wiki.anton-paar.com/en/zeta-potential/>) Anton Paar GmbH (<https://www.antonpaar.com>).

Переклад Донау ЛАБ УКРАЇНА <http://dlu.com.ua> - ексклюзивного дистриб'ютора продукції Anton Paar GmbH в Україні та Молдові



03028 Україна, м. Київ,
вул. Стратегічне шосе, 16
<http://dlu.com.ua>
Тел: +38 (044) 229-15-31
Факс: +38 (044) 229-15-30
e-mail: sale@dlu.com.ua