

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка  
Національний університет водного господарства  
та природокористування

**Микола МОРОЗ, Олександр РЕШЕТНЯК**

**МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЕРС  
У ВИЗНАЧЕННІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРНАРНИХ І ТЕТРАРНИХ  
СПОЛУК СРІБЛА**

***Монографія***

Львів  
ЛНУ імені Івана Франка  
2024

УДК 544.635:544.31/.32:[546.57:548.73.4/.5]  
М 80

**Рецензенти:**

д-р хім. наук, проф. *Віктор ЧЕРГИНЕЦЬ*  
(Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України);

д-р хім. наук, проф. *Валентин СЕРГЕСЬВ*  
(Національний університет “Львівська політехніка”);

д-р хім. наук, проф. *Любомир ГУЛАЙ*  
(Волинський національний університет імені Лесі Українки).

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Львівського національного університету імені Івана Франка  
(протокол № 27/3 від 30 березня 2022 року)*

**Мороз М.**

М 80      Метод вимірювання ЕРС у визначенні термодинамічних характеристик тернарних і тетрарних сполук срібла : монографія / Микола Мороз, Олександр Решетняк. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2024. – 258 + xvi с.  
ISBN 978-617-10-0893-9

Висвітлено особливості застосування методу вимірювання ЕРС електрохімічних комірок з твердим електролітом у визначенні термодинамічних характеристик тернарних і тетрарних сполук срібла. Запропоновано низькотемпературний ( $T < 600$  К) синтез рівноважного набору фаз із метастабільної суміші компонентів у додатних електродах електрохімічних комірок. Узагальнено та систематизовано дані щодо термодинамічних властивостей багатоелементних халькогенідів і халькогалогенідів срібла, а також фазових діаграм систем на їхній основі.

Для наукових співробітників і викладачів, а також аспірантів і студентів, що спеціалізуються в галузях електрохімії, хімії твердого тіла та фізико-хімічного матеріалознавства.

УДК 544.635:544.31/.32:[546.57:548.73.4/.5]

ISBN 978-617-10-0893-9

© Мороз М., Решетняк О., 2024

© Львівський національний університет  
імені Івана Франка, 2024

## ЗМІСТ

ПРО АВТОРІВ .....	vii
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....	ix
ПЕРЕДМОВА .....	xiii
ВСТУП .....	1
РОЗДІЛ 1. МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ КОМІРОК З ТВЕРДИМ ЕЛЕКТРОЛІТОМ І ТЕРМОДИНАМІКА НЕОРГАНІЧНИХ СИСТЕМ .....	5
1.1. Основні експериментальні методи дослідження термодинамічних властивостей сплавів .....	7
1.2. Основи методу ЕРС .....	9
1.2.1. Термодинаміка гальванічного елемента (ланцюга) .....	11
1.2.2. Вимоги до методу ЕРС, його переваги та недоліки .....	14
1.3. Характеристика матеріалів іонних провідників електрохімічних комірок .....	17
1.3.1. Кристалічні сполуки .....	19
1.3.2. Склоподібні матеріали .....	24
1.4. Будова електрохімічної комірки .....	28
1.5. Математичне оброблення експериментальних даних ..	31
1.5.1. Розрахунок похибок вимірювань ЕРС електрохімічних комірок .....	31
1.5.2. Розрахунок основних термодинамічних функцій сполук з використанням даних вимірювань ЕРС електрохімічних комірок .....	34
1.6. Особливості застосування методу ЕРС для дослідження фазових рівноваг бінарних і складніших гетерофазових систем .....	35
Висновки до Розділу 1 .....	39

РОЗДІЛ 2. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПОЛУК	
СИСТЕМ $\text{Ag-Fe-}\{\text{Ge, Sn, Pb}\}-\{\text{S, Se, Te}\}$ ТА ФАЗОВІ	
РІВНОВАГИ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ . . . . .	41
2.1. Літературний огляд фазових діаграм і термо-	
динамічних властивостей тернарних систем	
$\text{Ag-}\{\text{Ge, Sn, Pb}\}-\{\text{S, Se, Te}\}$ та $\text{Ag-Fe-}\{\text{S, Se, Te}\}$ . . . . .	43
2.1.1. Системи $\text{Ag-}\{\text{Ge, Sn, Pb}\}-\{\text{S, Se, Te}\}$ . . . . .	43
2.1.1.1. Система $\text{Ag-Ge-S}$ . . . . .	43
2.1.1.1. Система $\text{Ag-Ge-Se}$ . . . . .	44
2.1.1.3. Система $\text{Ag-Ge-Te}$ . . . . .	46
2.1.1.4. Система $\text{Ag-Sn-S}$ . . . . .	46
2.1.1.5. Система $\text{Ag-Sn-Se}$ . . . . .	49
2.1.1.6. Система $\text{Ag-Sn-Te}$ . . . . .	51
2.1.1.7. Система $\text{Ag-Pb-S}$ . . . . .	52
2.1.1.8. Система $\text{Ag-Pb-Se}$ . . . . .	52
2.1.2. $\text{Ag-Fe-}\{\text{S, Se, Te}\}$ . . . . .	52
2.2. Літературний огляд фазових діаграм і термодина-	
мічних властивостей тетрарних напівпровідникових	
сполук систем $\text{Ag-Fe-}\{\text{Ge, Sn, Pb}\}-\{\text{S, Se, Te}\}$ . . . . .	55
2.3. Система $\text{Ag-Fe-Sn-S}$ . . . . .	60
2.3.1. Фазові рівноваги в системі $\text{Ag-Fe-S}$ і термоди-	
намічні властивості сполук $\text{AgFeS}_2$ та $\text{Ag}_2\text{FeS}_2$ . . . . .	60
2.3.2. Фазові рівноваги в областях $\text{SnS-Sn}_2\text{S}_3\text{-FeS-}$	
$\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ , $\text{SnS-FeS-Ag}_2\text{FeSn}_4\text{-Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ і	
термодинамічні властивості сполук $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$	
та $\text{Ag}_2\text{FeSn}_4$ . . . . .	66
2.3.3. Фазові рівноваги в області $\text{SnS}_2\text{-FeS}_2\text{-Ag}_2\text{FeS}_2$ і	
термодинамічні властивості сполук $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$	
та $\text{Ag}_2\text{FeSn}_4$ . . . . .	75
2.4. Системи $\text{Ag-Fe-}\{\text{Ge, Sn, Pb}\}-\{\text{Se, Te}\}$ . . . . .	79
2.4.1. Фазові рівноваги в системі $\text{Ag-Fe-Se}$ і термоди-	
намічні властивості сполук $\text{AgFeSe}_2$ та $\text{Ag}_2\text{FeSe}_2$ . . . . .	79
2.4.2. Термодинамічні властивості сполук $\text{Ag}_2\text{Se}$ , $\text{SnSe}$ ,	
$\text{AgSnSe}_2$ та $\text{Ag}_8\text{SnSe}_6$ системи $\text{Ag-Sn-Se}$ . . . . .	85
2.4.3. Термодинамічні властивості сполуки $\text{AgSnTe}_2$	
системи $\text{Ag-Sn-Te}$ . . . . .	90
2.4.4. Термодинамічні властивості сполук $\text{Ag}_2\text{FeGeSe}_4$	
та $\text{Ag}_2\text{FeSnSe}_4$ систем $\text{Ag-Fe-}\{\text{Ge, Sn}\}-\text{Se}$ та	
фазові рівноваги на їхній основі . . . . .	95

2.4.5. Термодинамічні властивості сполуки $\text{Ag}_2\text{FePbSe}_4$ системи $\text{Ag-Fe-Pb-Se}$ та фазові рівноваги за її участі . . . . .	101
2.5. Система $\text{Ag-Fe-Ge-Te}$ . . . . .	107
2.5.1. Фазові рівноваги в системі $\text{Ag-Fe-Te}$ і термодинамічні властивості сполук $\text{AgFeTe}_2$ та $\text{Ag}_2\text{FeTe}_2$ . . . . .	107
2.5.2. Термодинамічні властивості сполуки $\text{Ag}_8\text{GeTe}_6$ системи $\text{Ag-Ge-Te}$ . . . . .	111
2.5.3. Термодинамічні властивості сполуки $\text{Ag}_2\text{FeGeTe}_4$ системи $\text{Ag-Fe-Ge-Te}$ та фазові рівноваги на її основі . . . . .	114
Висновки до Розділу 2 . . . . .	120
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПОЛУК СИСТЕМ <math>\text{Ag-}\{\text{Zn, Cd, Pb}\}\text{-}\{\text{Ge, Sn}\}\text{-}\{\text{S, Se, Te}\}</math> ТА ФАЗОВІ ДІАГРАМИ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ . . . . .</b>	
3.1. Літературний огляд фазових діаграм і термодинамічних властивостей тернарних систем $\{\text{Zn, Cd}\}\text{-}\{\text{Ge, Sn}\}\text{-}\{\text{S, Se}\}$ . . . . .	125
3.1.1. Система $\text{Zn-Ge-S}$ . . . . .	125
3.1.2. Система $\text{Cd-Sn-S}$ . . . . .	125
3.1.3. Система $\text{Cd-Sn-Se}$ . . . . .	125
3.2. Літературний огляд фазових діаграм і термодинамічних властивостей тернарних систем $\text{Ag-}\{\text{Zn, Cd, Pb}\}\text{-}\{\text{Ge, Sn}\}\text{-}\{\text{S, Se}\}$ . . . . .	126
3.2.1. Система $\text{Ag-Zn-Ge-S}$ . . . . .	126
3.2.2. Система $\text{Ag-Pb-Ge-S}$ . . . . .	126
3.2.3. Система $\text{Ag-Cd-Sn-S}$ . . . . .	127
3.2.4. Система $\text{Ag-Cd-Sn-Se}$ . . . . .	129
3.3. Фазові рівноваги системи $\text{Ag-Zn-Ge-S}$ в частині $\text{ZnS-Ag}_2\text{GeS}_3\text{-Ge-GeS}_2$ і термодинамічні властивості сполуки $\text{Ag}_2\text{ZnGeS}_4$ . . . . .	130
3.4. Фазові рівноваги системи $\text{Ag-Pb-Ge-S}$ в частині $\text{Ag}_8\text{GeS}_6\text{-Ge-GeS}_2\text{-PbS}$ і термодинамічні властивості проміжних сполук . . . . .	138
3.5. Термодинамічні властивості сполук $\text{Ag}_2\text{CdSn}_3\text{S}_8$ і $\text{Ag}_2\text{CdSn}_4\text{S}_4$ системи $\text{Ag-Cd-Sn-S}$ та фазові рівноваги на їхній основі . . . . .	146

3.6. Термодинамічні властивості сполуки $\text{Ag}_2\text{CdSnSe}_4$ системи $\text{Ag-Cd-Sn-Se}$ та фазові взаємодії за її участі	153
Висновки до Розділу 3	160
<b>РОЗДІЛ 4. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПОЛУК СИСТЕМ <math>\text{Ag-S-Te-Cl-Br}</math> ТА ФАЗОВІ РІВНОВАГИ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ</b>	163
4.1. Літературний огляд фазових діаграм і термодина- мічних властивостей тернарних сполук систем $\text{Ag-S-Te-Cl-Br}$	165
4.1.1. Системи $\text{Ag-S-Cl-Br}$	165
4.1.2. Система $\text{Ag-Te-Br}$	165
4.1.3. Система $\text{Ag-Te-Cl}$	166
4.2. Термодинамічне дослідження фазових рівноваг супер- іонних сплавів системи $\text{Ag-S-Cl-Br}$ методом ЕРС	167
4.2.1. Температурний інтервал 370–395 К	168
4.2.2. Температурний інтервал 465–490 К	171
4.3. Фазові рівноваги та термодинамічні властивості тернарних сполук системи $\text{Ag-Te-AgCl}$	174
4.4. Термодинамічні властивості проміжних сполук системи $\text{Ag-Te-AgBr}$ та фазові рівноваги за їхньої участі	180
Висновки до Розділу 4	187
<b>ВИСНОВКИ</b>	189
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	195
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК</b>	223
<b>ФОРМУЛЬНИЙ ПОКАЖЧИК</b>	247

## ПРО АВТОРІВ

**Мороз Микола Володимирович** (нар. 05.06.1982)

Завідувач кафедри хімії та фізики Національного університету водного господарства та природокористування, доктор хімічних наук, професор.

Лауреат Премії Верховної Ради України найталановитішим молодим ученим в галузі фундаментальних і прикладних досліджень та науково-технічних розробок 2015 року, стипендіат Кабінету Міністрів України для молодих вчених 2016–2017 та 2020–2023 років, лауреат премії Президента України для молодих вчених 2022 року. Член Наукового товариства імені Шевченка.

Учасник міжнародного стажування в Abo Akademi University (Фінляндія). Рецензент міжнародних журналів: Journal of Chemical Thermodynamics, Journal of Solid State Chemistry, Journal of Alloys and Compounds (Elsevier B. V.), JOM (Springer-Nature).

Автор понад 150 наукових і навчально-методичних публікацій, у тім числі понад 50 статей, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних SCOPUS/Web of Science, 4 навчальних посібників.

Сфера наукових зацікавлень: хімічна термодинаміка, фазові діаграми халькогенідів і халькогалогенідів перехідних металів, йоніка твердого тіла.

Scopus ID:	<b>36601040100</b>
ORCID ID:	<b>0000-0003-1639-4713</b>
Web of Science ResearcherID:	<b>K-2615-2017</b>

**Решетняк Олександр Володимирович** (нар. 13.05.1970)

Завідувач кафедри фізичної та колоїдної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка, доктор хімічних наук, професор. Лауреат Національної премії імені Бориса Патона 2021 року. Дійсний член Наукового товариства імені Шевченка.

Член бюро Наукової ради Національної академії наук України з проблеми “Електрохімія”, Міжвідомчої ради з проблем корозії і протикорозійного металів при Президії НАН України, секції “Хімія і хімічні технології” Західного наукового центру НАН України та МОН України, Науково-методичної ради МОН України.

Головний редактор фахового наукового збірника “*Праці НТШ. Хімічні науки*” та член редакційної колегії збірника наукових праць “*Вісник Львівського університету. Серія хімічна*”.

Автор понад 400 наукових і навчально-методичних публікацій, у тім числі 3 монографій, 15 розділів монографій, 8 патентів України, понад 150 статей, 1 підручника (з грифом МОН України) та 9 навчальних посібників.

Сфера наукових зацікавлень: хімічна термодинаміка, нанохімія, електропровідні полімери та композити на їхній основі, електрохемилюмінесценція, хімічні джерела струму.

Scopus ID:	<b>35614250100</b>
ORCID ID:	<b>0000-0001-9669-9431</b>
Web of Science ResearcherID:	<b>C-5088-2017</b>



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АПН – алмазоподібні напівпровідники;	СТ – структурний тип;
ат. % – атомні відсотки;	ТГ – термогравіметрія;
ВТМ – високотемпературна поліморфна модифікація фази;	ТЕ – твердий електроліт;
див. – дивись;	ФП – фазовий перехід;
ДСК – диференційна скануюча калориметрія;	ХФА – Х-променевий фазовий аналіз;
ДТА – диференційний термічний аналіз;	$a, b, c$ – параметри елементарної комірки;
ЕДХ – енерго-дисперсійний Х-променевий аналіз;	CALPHAD – аббревіатура від <i>англ.</i> CALculation of PHAse Diagrams;
ЕРС – електрорушійна сила;	$C_p$ – молярна теплоємність за постійного тиску;
ЕХК – електрохімічна комірка;	$E$ – електрорушійна сила;
ІП – іонний провідник;	$F = 96485,3$ Кл·моль <sup>-1</sup> – число Фарадея;
ЛЕ – лівий електрод;	$k_{st}$ – коефіцієнт Стьюдента;
МНК – метод найменших квадратів;	$L$ – розплав;
мол. % – мольні відсотки;	$p$ – тиск;
МСА – мікроструктурний аналіз;	$S$ – абсолютна ентропія;
НТМ – низькотемпературна поліморфна модифікація фази;	$T$ – температура;
ПВР – потенціаловизначальна реакція;	$T_g$ – температура склування (розм'якшення);
ПГ – просторова група;	$T_m$ – температура плавлення;
ПЕ – правий електрод;	$T_{ph}$ – температура фазового переходу;
СЕМ – скануюча електронна мікроскопія;	$T_s$ – температура кристалізації;
	$\bar{T}$ – середнє значення температури;
	$t_i$ – число перенесення (іонна складова провідності);

$z^+$ – заряд потенціаловизначального йона;	$\Delta_{\text{ph}}H$ – ентальпія фазового переходу;
$\alpha$ -, $\beta$ - та $\gamma$ - – низько-, середньо- та високотемпературні поліморфні модифікації фази в досліджуваному температурному інтервалі;	$\Delta_{\text{ph}}S$ – ентропія фазового переходу;
$\sigma$ – питома провідність (іонна та електронна складові);	$\Delta E_a$ – енергія активації носіїв заряду;
$\sigma_i$ – питома йонна провідність;	$\Delta_f G$ – енергія Гіббса утворення сполуки з елементів;
$\sigma_e$ – питома електронна провідність;	$\Delta_f H$ – ентальпія утворення сполуки з елементів;
$\mu$ – хімічний потенціал;	$\Delta_f S$ – ентропія утворення сполуки з елементів;
$\Delta \bar{G}$ – зміна парціальної енергії Гіббса;	$\Delta_r G$ – енергія Гіббса реакції;
$\Delta \bar{H}$ – зміна парціальної ентальпії;	$\Delta_r H$ – ентальпія реакції;
$\Delta \bar{S}$ – зміна парціальної ентропії;	$\Delta_r S$ – ентропія реакції.
$\Delta_{\text{ph}}G$ – енергія Гіббса фазового переходу;	<i>Надрядковий символ</i>
	$^\circ$ – стандартний стан ( $p = 10^5$ Па).



**Присвячується**

**150-ій річниці заснування у Львові**

**Наукового товариства  
імені Шевченка**

## ПЕРЕДМОВА

Розвиток сучасної науки і техніки потребує неперервного пошуку нових напівпровідникових сплавів та удосконалення наукових основ їхнього одержання. Для керованого синтезу та максимально ефективного використання прикладних можливостей складних халькогенідних і халькогалогенідних фаз необхідне комплексне вивчення їхніх фізико-хімічних властивостей. На першому етапі таких досліджень важливе місце займає побудова фазових діаграм стану систем і визначення термодинамічних властивостей ідентифікованих сполук.

Крім того, в останні роки невпинно збільшується кількість публікацій присвячених моделюванню фазових діаграм стану багатокомпонентних систем з використання таких пакетів програм, як наприклад, Thermo-Calc, FactSage, Pandat тощо. Такий інтерес пов'язаний з тим, що традиційний шлях побудови діаграм стану складних систем за експериментальними даними, на відміну від методу моделювання, потребує значних часових затрат на дослідження. Термодинамічне моделювання є різновидом математичного моделювання та ґрунтується на використанні інформації про термодинамічні властивості речовин, які формують рівноважну систему. Використання такого підходу дає змогу значно зменшити кількість та тривалість трудомістких експериментальних досліджень.

Для ефективного використання згаданих пакетів програм необхідні бази даних про термодинамічні властивості сполук. На даний час відомі достовірні термодинамічні дані для більшості бінарних сполук, проте лише для незначної частини сполук тернарних. Інформації про термодинамічні властивості срібловмісних тетрарних сполук у фаховій літературі взагалі немає. Серед способів експериментального вивчення термодинамічних функцій сплавів метод вимірювання ЕРС електрохімічних комірок – один з найнадійніших і найточніших. Успіхи хімії твердого тіла, синтез нових твердих електролітів з достатньо високою йонною провідністю дали змогу розширити межі застосування цього методу для визначення термодинамічних характеристик багатьох складних систем.

Монографія є адаптованим для ширшого кола читачів виданням дисертаційної роботи “*Термодинамічні властивості халькогенідів та халькогалогенідів деяких перехідних металів та фазові діаграми систем на їхній основі*” на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 102 – “Хімія” (02.00.04 – фізична хімія), яку Микола Мороз успішно захистив у 2021 році (науковий консультант – професор Олександр Решетняк).

Синтез більшості зразків, виготовлення електрохімічних комірок і вимірювання ЕРС виконав канд. фіз.-мат. наук, доцент Володимир Мороз і професор Микола Мороз у науково-дослідній фізико-технологічній лабораторії напівпровідникового матеріалознавства Національного університету водного господарства та природокористування. Частину поданих результатів отримано під час стажування Миколи Мороза в Лабораторії неорганічної хімії Університету Академія Або (Abo Akademi University) у 2017–2018 роках (наукові керівники – Dr. Fiseha Tesfaye, Prof. Leena Hupa і Prof. Daniel Lindberg) та подальшого навчання в докторантурі кафедри фізичної та колоїдної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка у 2019–2021 роках.

X-променевий фазовий (ХФА) та структурний аналіз більшості зразків провів канд. хім. наук, старший дослідник Павло Демченко у Міжфакультетській науково-навчальній лабораторії рентгеноструктурного аналізу Львівського національного університету імені Івана Франка. Результати скануючої електронної мікроскопії, диференційної скануючої калориметрії і термогравіметричного аналізу (ДСК–ТГ) зразків отримано спільно з працівниками Abo Akademi University: Peter Backman, Tor Lauren та Linus Silvander.

В обговоренні отриманих експериментальних даних і термодинамічному аналізі наведених у монографії теоретичних розрахунків брали активну участь ст. дослідник Павло Демченко, Dr. Fiseha Tesfaye, Prof. Leena Hupa, Prof. Daniel Lindberg, а також доц. Мирослава Прохоренко (Національний університет “Львівська політехніка”).

Для написання монографії ми використали значний пласт літературних даних про фазові взаємодії в досліджуваних системах, отриманий науковою школою Волинського національного університету імені Лесі Українки, зокрема науковою групою під керівництвом канд. хім. наук, професора Олега Парасюка (1969–2018).

Автори монографії дякують член-кореспонденту Національної академії наук Азербайджану, д-ру хім. наук, професорові М. Б. Бабанли та його науковій групі за плідну співпрацю й обмін думками щодо особливостей застосування методу вимірювання ЕРС електрохімічних комірок для визначення термодинамічних функцій сполук та побудови фазових діаграм багатокомпонентних систем.

Окремо автори роботи хочуть згадати світлої пам'яті канд. фіз.-матем. наук, професора Олексія Миколайчука (1931–2024) – керівника кандидатської дисертації Миколи Мороза, його життєві настанови та слушні наукові поради.

Автори також вдячні рецензентам – доктору хімічних наук, професору Віктору Чергинцю; доктору хімічних наук, професору Валентину Сергееву та доктору хімічних наук, професору Любомиру Гулаю за цінні зауваження, які були враховані під час написання монографії.

*Микола МОРОЗ, Олександр РЕШЕТНЯК*  
*Рівне – Львів*  
*червень 2024 року*

Наукове видання

**МОРОЗ Микола Володимирович,  
РЕШЕТНЯК Олександр Володимирович**

**МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЕРС  
У ВИЗНАЧЕННІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРНАРНИХ  
І ТЕТРАРНИХ СПОЛУК СРІБЛА**

Монографія

Редактор: Н. Плиса  
Комп'ютерне верстання: О. Решетняк  
Обкладинка: І. Чайка

Формат 70×100/16. Умовн. друк. арк. 22,25.  
Тираж 50 прим. Зам.

Видавець і виготовлювач:

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників  
і розповсюджувачів видавничої продукції.  
Серія ДК № 3059 від 13.12.2007 р.