

УДК 546:548.736.4

ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТНІ ВЛАСТИВОСТІ СПОЛУК $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Л. Ромака^{1*}, Б. Кужель¹, В. Ромака², Ю. Стадник¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна;

²Технічний університет Дрездена,
Бергштрассе, 66, 01069 Дрезден, Німеччина
e-mail: lyubov.romaka@gmail.com

Досліджено температурні залежності питомого електроопору сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Ce, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb$) в інтервалі температур 4,2–300 К та $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Y, Sm, Lu$) за температур 11–300 К. Досліджені сполуки характеризуються малими значеннями питомого електроопору та металічним типом провідності. Для сполук з Ce, Dy та Tm визначено наявність магнітного впорядкування за низьких температур.

Ключові слова: інтерметаліди, питомий електроопір, рентгенівський аналіз, кристалічна структура.

DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.6301.125>

1. Вступ

Потрійні системи $R-Cu-Sn$ (R – рідкісноземельний елемент) характеризуються значною різноманітністю стехіометрій і кристалічних структур проміжних тернарних фаз. Аналіз систем $R-Cu-Sn$, які вивчені практично для повного ряду рідкісноземельних металів [1–8], засвідчує, що тернарні сполуки утворюються, головню, за значного вмісту Купруму і Стануму (до 60 ат. %). В області систем за вмісту стануму 15 і 20 ат. % утворюються дві тернарні сполуки $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ (структурний тип $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$) [9] і RCu_5Sn (структурний тип $CeCu_5Au$) [10], структури яких є похідними від структури типу $CaCu_5$. Вимірювання магнітних властивостей сполук RCu_5Sn ($R = Gd-Yb$) [10] засвідчило, що більшість з них характеризуються антиферомагнітним упорядкуванням за низьких температур, станід $YbCu_5Sn$ проявляє проміжну валентність. Магнітне впорядкування сполук RCu_5Sn підтверджено вимірюванням температурних залежностей питомого електроопору [11]. Для сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ дослідження електричних і магнітних властивостей проводилось в інтервалі температур 80–300 К [12]. З'ясовано, що у досліджуваному інтервалі температур сполуки характеризуються металічним типом провідності, а сполуки, які містять рідкісноземельні елементи з локалізованими магнітними моментами, є парамагнетиками Кюрі-Вейса.

Беручи до уваги, що особливості поведінки електричних чи магнітних властивостей інтерметалідів проявляються, головню, за низьких температур, в цій праці подано результати дослідження електричних властивостей станідів $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Y, Ce, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu$) в інтервалі температур 11–300 та 4,2–300 К.

2. Матеріали та методика експерименту

Зразки складу $R_{13}Cu_{67}Sn_{20}$, де $R = Y, Ce, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu$, готували шляхом сплавлення шихти вихідних компонентів (вміст основного компонента не нижчий за 99,9 мас. %) в атмосфері очищеного аргону (як гетер використовували губчастий титан). Сплави запаювали у вакуумовані кварцові ампули та відпалювали за температури 1 070 К упродовж 720 год з подальшим гартуванням у холодній воді. Рентгенофазовий аналіз проводили за дифрактограмами зразків, отриманими на дифрактометрі ДРОН-2,0М ($Fe K_{\alpha}$ -випромінювання). Хімічний і фазовий склад зразків контролювали за допомогою енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (ЕДРС) (електронний скануючий мікроскоп РЕММА 102-02). Для розрахунку періодів ґратки використовували комплекс програм WinCSD [13]. Масиви дифракційних даних отримані у кроковому режимі зйомки на автоматичному дифрактометрі STOE STADI P ($Cu K_{\alpha 1}$ -випромінювання). Для розрахунків використовували комплекс програми FullProf [14].

Для вимірювання електричних властивостей використовували зразки правильної геометричної форми, виготовлені із застосуванням електроіскрової різки. Температурні дослідження питомого електроопору проводили двозондовим методом з використанням криостатної системи (Advanced Research Systems, США) для оптичних та електрофізичних досліджень на базі гелієвого рефрижератора із замкнутим циклом з робочим діапазоном температур 11–300 К. Додатково для більшості зразків вимірювання проводили в температурному інтервалі 4,2–300 К.

3. Результати досліджень та їх обговорення

Згідно з рентгенофазовим аналізом, синтезовані зразки сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Y, Ce, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu$) належать до структурного типу $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ (просторова група $P6_3/mmc$), який є розупорядкованим варіантом структури $CeNi_5Sn$. Дані аналізу та періоди комірки сполук наведено в табл. 1. Як приклад, в табл. 2 подано результати уточнення структури сполуки $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$. Експериментальну, теоретичну та різницеву дифрактограми зображено на рис. 1.

Таблиця 1

Дані ЕДРС аналізу та періоди елементарної комірки сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Table 1

EPMA data and lattice parameters for $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compounds

Дані ЕДРС, ат. %	Періоди комірки, нм	
	<i>a</i>	<i>c</i>
$Y_{13,22}Cu_{66,21}Sn_{20,57}$	0,50348(3)	2,0445(5)
$Ce_{13,51}Cu_{66,22}Sn_{20,27}$	0,5084(2)	2,0631(4)
$Sm_{13,32}Cu_{66,29}Sn_{20,39}$	0,50559(2)	2,0578(5)
$Gd_{13,52}Cu_{66,24}Sn_{20,24}$	0,50419(3)	2,0516(3)
$Tb_{13,41}Cu_{66,36}Sn_{20,23}$	0,50341(2)	2,0484(3)
$Dy_{13,36}Cu_{66,35}Sn_{20,29}$	0,50273(2)	2,0480(1)
$Ho_{13,44}Cu_{66,39}Sn_{20,17}$	0,50238(1)	2,04708(6)
$Er_{13,49}Cu_{66,31}Sn_{20,20}$	0,50233(3)	2,0455(3)
$Tm_{13,52}Cu_{66,29}Sn_{20,19}$	0,50225(4)	2,0440(4)
$Yb_{13,42}Cu_{66,17}Sn_{20,41}$	0,50412(4)	2,0798(4)
$Lu_{13,47}Cu_{66,20}Sn_{20,33}$	0,50210(1)	2,03974(5)

Атомні координати та ізотропні параметри атомного зміщення
 у структурі сполуки $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Таблиця 2

Table 2

Atomic coordinates and isotropic displacement parameters for $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compound

Атом	ПСТ	x/a	y/b	z/c	$B \cdot 10^2$ ізо (нм ²)	КЗП
Dy1	2d	1/3	2/3	3/4	0,79(2)	0,86(2)
Dy2	2a	0	0	0	0,66(2)	1
Cu1	12k	0,1645(1)	0,3290(2)	0,1419(1)	0,53(1)	1
Cu2	4f	1/3	2/3	0,0412(3)	1,23(2)	1
Cu3	2b	0	0	1/4	1,21(3)	1
Sn	4f	1/3	2/3	0,5844(1)	0,64(5)	1
(Sn/Cu)	2c	1/3	2/3	1/4	0,62(2)	0,81(4)/0,19(4)

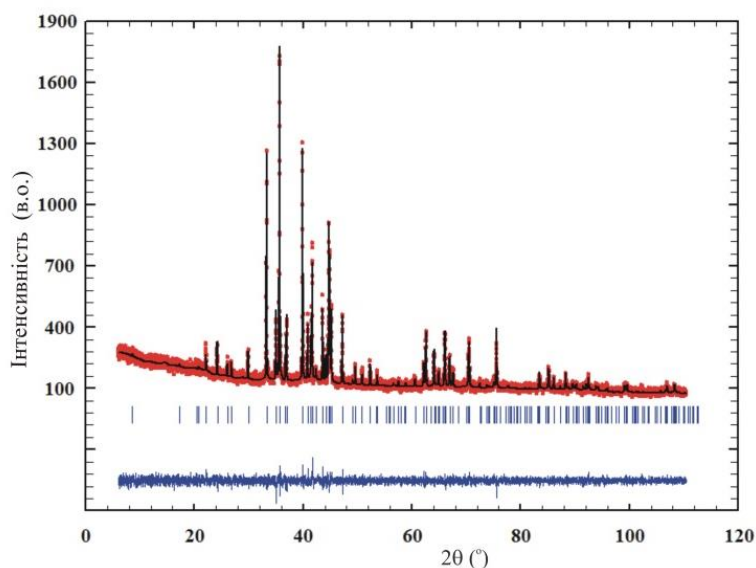


Рис. 1. Теоретична (суцільна лінія), експериментальна (точки) та різницева (внизу) дифрактограми сполуки $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Fig. 1. The observed, calculated and difference X-ray patterns of $Dy_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compound

Вимірювання температурних залежностей питомого електроопору ($\rho(T)$) сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ виконано в інтервалі температур 4,2–300 К (для сполук $Y_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$, $Sm_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ і $Lu_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ – в інтервалі температур 11–300 К). Графіки температурних залежностей $\rho(T)$ досліджуваних сполук наведено на рис. 2–6. Як бачимо з рис. 2–6, абсолютні величини питомого електроопору є одного порядку для всіх сполук, зростають з підвищенням температури, що разом із невеликими значеннями питомого електроопору (85–170 мкОм·см при 300 К) свідчить про металевий тип провідності у використаному температурному інтервалі.

Для станідів $Y_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ і $Lu_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$, які містять немагнітні елементи Y і Lu, відсутність переходу на залежностях $\rho(T)$ вище 11 К (рис. 2) узгоджується з парамагнетизмом Паулі сполук [12]. На графіку температурної залежності питомого електроопору за низьких температур, оскільки для сполуки згідно з [12] характерний стан проміжної валентності. Температурна залежність питомого електроопору $Yb_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ має лінійний характер за високих температур, в області низьких температур простежується незначне зростання питомого електроопору, характерне для Кондо-систем.

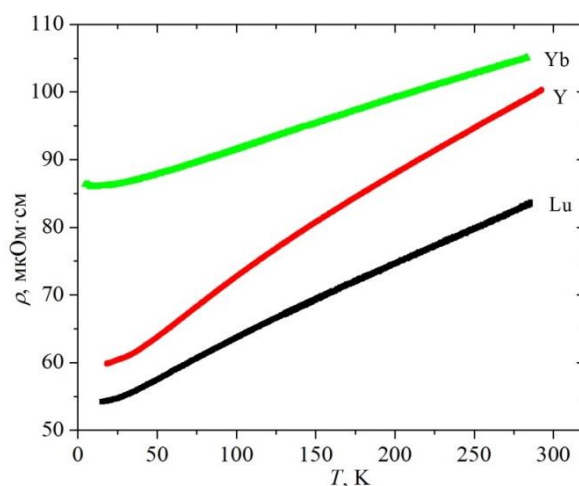


Рис. 2. Температурні залежності питомого електроопору сполук $Y_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$, $Yb_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ і $Lu_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Fig. 2. Temperature dependences of electrical resistivity for $Y_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$, $Yb_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ and $Lu_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compounds

Для сполуки $Sm_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ характерне лінійне зростання питомого електроопору з температурою. На відміну від решти станідів $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ значення питомого електроопору $Sm_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ набагато вищі (157–232 $\mu\text{Om}\cdot\text{cm}$), що може бути пов'язано з наявністю пор у зразку. Температурна залежність питомого електроопору станіду $Ce_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ характеризується значною нелінійністю залежності $\rho(T)$, а також стрімким зменшенням питомого електроопору за низьких температур (рис. 3).

Екстремум на залежності питомого електроопору при 17,3 К відповідає магнітному впорядкуванню сполуки $Ce_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$.

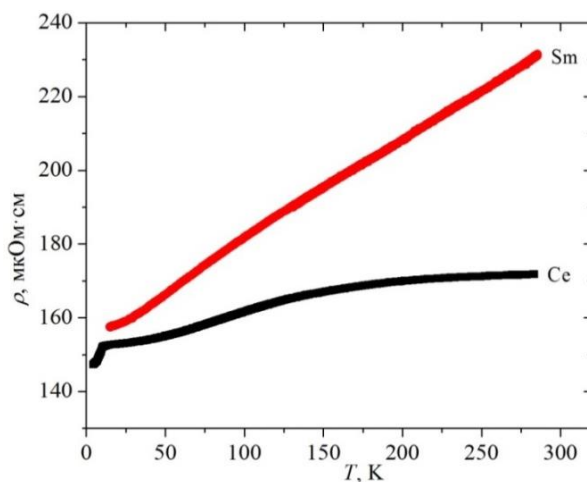


Рис. 3. Температурні залежності питомого електроопору сполук $Ce_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ і $Sm_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Fig. 3. Temperature dependences of electrical resistivity for $Ce_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ and $Sm_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compounds

Для сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$, де $R = Gd, Tb, Ho, Er$, характерної зміни питомого електроопору за низьких температур, пов'язаної з магнітним упорядкуванням, не виявлено в дослідженому температурному інтервалі (рис. 4, 5).

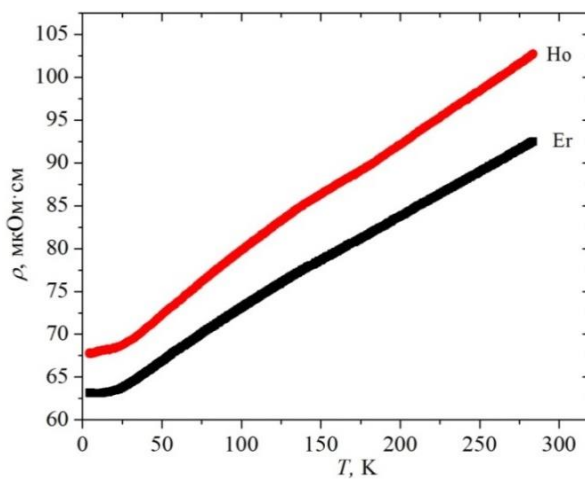


Рис. 4. Температурні залежності питомого електроопору сполук $Ho_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ і $Er_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$

Fig. 4. Temperature dependences of electrical resistivity for $Ho_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ and $Er_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compounds

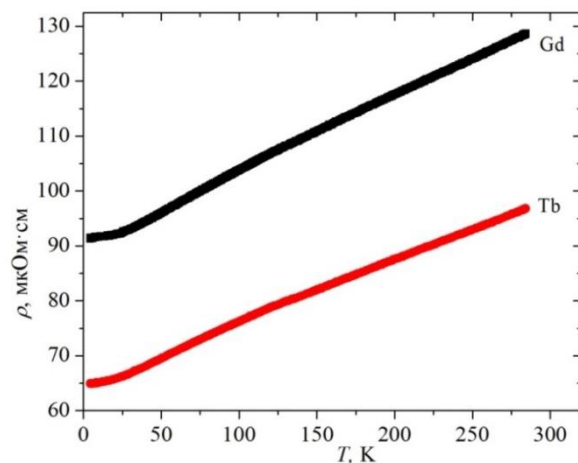


Рис. 5. Температурні залежності питомого електроопору сполук $\text{Gd}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ і $\text{Tb}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$

Fig. 5. Temperature dependences of electrical resistivity for $\text{Gd}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ and $\text{Tb}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ compounds

В області низьких температур для станідів $\text{Dy}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ і $\text{Tm}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ на залежностях $\rho(T)$ простежуються максимуми за температур 8,1 К і 7,9 К, відповідно, (рис. 6), що свідчить про магнітне впорядкування цих сполук за низьких температур.

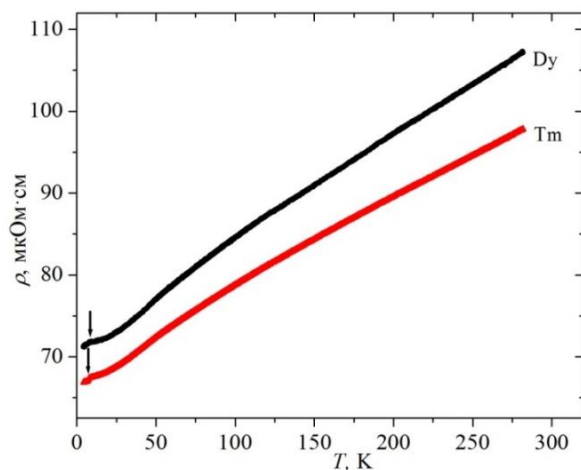


Рис. 6. Температурні залежності питомого електроопору сполук $\text{Dy}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ і $\text{Tm}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$

Fig. 6. Temperature dependences of electrical resistivity for $\text{Dy}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ and $\text{Tm}_{1,9}\text{Cu}_{9,2}\text{Sn}_{2,8}$ compounds

З огляду на незначну нелінійність температурні залежності питомого електроопору сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Sm, Gd, Ho, Er, Lu$) у парамагнітній області можуть бути задовільно описані за допомогою формули Блоха–Грюнайзена–Мотта [15]:

$$\rho(T) = \rho_0 + 4RT \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^4 \int_0^{\Theta_D/T} \frac{x^5 dx}{(e^x - 1)(1 - e^{-x})} - AT^3,$$

де ρ_0 – температурно-незалежна складова опору, що містить розсіювання електронів провідності на дефектах кристалічної ґратки (залишковий опір) і розсіювання, пов'язане зі спіновим розупорядкуванням за наявності розупорядкованих магнітних моментів; параметр Θ_D – температура Дебая. В табл. 3 наведено значення залишкового опору ρ_0 та температури Дебая для сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Sm, Gd, Ho, Er, Lu$).

Таблиця 3
 Залишковий електроопір та температури Дебая Θ_D для сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$
 ($R = Sm, Gd, Ho, Er, Lu$)

Table 3
 Residual resistivity and Debye temperatures Θ_D for $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ compounds
 ($R = Sm, Gd, Ho, Er, Lu$)

Сполука	ρ_0 , мкОм·см	Θ_D , К
$Sm_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$	157,2	133,2
$Gd_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$	91,5	140,9
$Ho_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$	68,1	141,2
$Er_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$	63,1	129,5
$Lu_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$	54,1	150,2

4. Висновки

Вимірювання температурних залежностей питомого електроопору сполук $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Ce, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb$) в інтервалі температур 4,2–300 К та $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ ($R = Y, Sm, Lu$) за температур 11–300 К засвідчило, що досліджені сполуки характеризуються металевим типом провідності. Для сполук з Ce, Dy та Tm визначено наявність магнітного впорядкування за низьких температур. Отож дослідження структурних характеристик станідів $R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8}$ у комплексі з експериментальними дослідженнями температурних залежностей питомого електроопору дає змогу характеризувати магнітний стан компонентів і речовини загалом і слугує додатковим підтвердженням наявності магнітного впорядкування або його відсутності.

1. *Romaka V. V., Romaka L. P., Krajovskyj V. Ya., Stadnyk Yu. V.* Stannides of rare earth and transition metals // Lviv Polytech. Univ. 2015. 221 p.
2. *Romaka L., Romaniv I., Stadnyk Yu., Romaka V. V., Serkiz R., Gladyshevskii R.* Contribution to the investigation of the Y–Cu–Sn ternary system // Chem. Met. Alloys. 2014. Vol. 7. P. 132–138.
3. *Zhan Y., Xie H., Jiang J., Xu Y., Wang Y., Zhuang Y.* The isothermal section of the La–Cu–Sn ternary system at 473K // J. Alloys Compd. 2008. Vol. 461. P. 570–573.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.07.040>
4. *Riani P., Mazzone D., Zanicchi G., Marazza R., Ferro R., Faudot F., Harmelin M.* On the Ce–Cu–Sn system // J. Phase Equil. 1998. Vol. 19. P. 239–251.
DOI: <https://doi.org/10.1361/105497198770342256>
5. *Riani P., Fornasini M. L., Marazza R., Mazzone D., Zanicchi G., Ferro R.* The isothermal section at 400 °C of the Nd–Cu–Sn ternary system // Intermetallics. 1999. Vol. 7. P. 835–846. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-9795\(98\)00132-0](https://doi.org/10.1016/S0966-9795(98)00132-0)
6. *Senkovska I. V., Mudryk Ya. S., Romaka L. P., Bodak O. I.* {Sm,Er}–Cu–Sn ternary systems // J. Alloys Compd. 2000. Vol. 312. P. 124–129.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(00\)01092-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(00)01092-6)
7. *Romaka L., Romaniv I., Romaka V. V., Konyk M., Horyn A., Stadnyk Yu.* Isothermal section of the Ho–Cu–Sn ternary system at 670 K // Phys. Chem. Solid State. 2018. Vol. 19(2). P. 139–146. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.19.2.139-146>
8. *Zanicchi G., Mazzone D., Fornasini M. L., Riani P., Marazza R., Ferro R.* Yb–Cu–Sn system: the isothermal section at 400 °C // Intermetallics. 1999. Vol. 7. P. 957–966.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-9795\(99\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0966-9795(99)00003-5)
9. *Romaka V. V., Fruchart D., Gladyshevskii R., Rogl P., Koblyuk N.* Crystal structure of new ternary RE_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8} compounds (RE= Y, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, and Lu) // J. Alloys Compd. 2008. Vol. 460. P. 283–288.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.06.022>
10. *Mudryk Ya., Isnard O., Romaka L., Fruchart D.* Crystal structure and magnetic properties of RCu₅Sn compounds (R=Y, Gd-Yb) // Solid State Commun. 2001. Vol. 119. P. 423–427. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-1098\(01\)00273-3](https://doi.org/10.1016/S0038-1098(01)00273-3)
11. *Romaniv I., Romaka L., Kuzhel B., Romaka V. V., Rudchenko M., Stadnyk Yu., Konyk M., Rudko M.* Structural and electrical characterization of RCu₅Sn compounds (R = Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, and Tm) // Chem. Met. Alloys. 2019. Vol. 12. P. 1–8.
12. *Ромака В., Гореленко Ю., Ромака Л.* Електричні та магнітні властивості сполук R_{1,9}Cu_{9,2}Sn_{2,8} (R = Y, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Tm, Yb та Lu) // Вісник Львів університету. Сер. Хімія. 2009. Вип. 50. С. 10–17 (українською мовою).
13. *Akselrud L., Grin Yu.* WinCSD: software package for crystallographic calculations (Version 4) // J. Appl. Cryst. 2014. Vol. 47. P. 803–805.
DOI: <https://doi.org/10.1107/S1600576714001058>
14. *Rodriguez-Carvajal J.* Recent developments of the program FullProf. Commission on Powder Diffraction // IUCr Newsletter. 2001. Vol. 26. P. 12–19.
15. *Mott N. F., Jones H.* The Theory of the Properties of Metals and Alloys // Oxford University Press. 1958.

ELECTRICAL TRANSPORT PROPERTIES OF $R_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ COMPOUNDS

L. Romaka^{1*}, B. Kuzhel¹, V. Romaka², Yu. Stadnyk¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla i Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine;*

²*Technische Universität Dresden,
Bergstrasse, 66, 01069 Dresden, Germany
e-mail: lyubov.romaka@gmail.com*

Electrical transport properties of the $R_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ ($R = Y, Ce, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu$) compounds with the $Dy_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ structure type (space group $P6_3/mmc$) were studied. Polycrystalline samples were prepared by arc melting of the stoichiometric amounts of the constituent elements (nominal purities: rare earth metals – 99.9 wt. %, Cu – 99.99 wt. %, Sn – 99.999 wt. %) on a water-cooled copper hearth under a protective Ti-gettered argon atmosphere. Subsequently the buttons were annealed at 1 070 K for 720 h in evacuated silica tubes, followed by quenching in cold water. Quality of the prepared samples was tested by X-ray powder diffraction (diffractometer DRON-2.0M, Fe K_α radiation) and Scanning Electron Microscopy (REMMA 102-02 electron microscope equipped with an energy-dispersive spectroscopy X-ray analyser). XRPD data were collected in the transmission mode on a STOE STADI P diffractometer (Cu $K\alpha_1$ radiation).

The temperature dependencies of electrical resistivity ($\rho(T)$) of $R_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ stannides were measured employing two-probe method on millimeter-scale, well-shaped pieces cut by spark erosion from the polycrystalline samples in the temperature range 4.2–300 K ($R = Ce, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb$) and 11–300 K ($R = Y, Sm, Lu$). Electrical resistivity measurements showed that the resistivity values of the all studied compounds increase with temperature indicating metallic type of conductivity. For $Y_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ and $Lu_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ stannides, which contain nonmagnetic elements Y and Lu, the absence of transition on the $\rho(T)$ dependences at low temperatures is consistent with the Pauli paramagnetism of compounds. The temperature dependence of the resistivity of $Yb_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ compound is almost linear at high temperatures, at low temperature part there is a slight increase in resistivity, which is characteristic of Kondo systems. Change of the resistivity caused by magnetic ordering was not observed in the studied temperature interval for the $R_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ compounds where R are Gd, Tb, Ho, Er. The slope change of the resistivity at low temperature part of $\rho(T)$ dependences for the $R_{1.9}Cu_{9.2}Sn_{2.8}$ compounds with $R=Ce, Dy, Tm$ is associated with their magnetic ordering.

Keywords: intermetallics, electrical resistivity, X-ray analysis, crystal structure.

Стаття надійшла до редколегії 27.10.2021
Прийнята до друку 10.06.2022