

Висновки. У базисі пасивних елементів достатньо трудомістка та дорого здійснювати коригування ТКО зразкових резистивних мір. На основі структур з активними елементами можна здійснювати коригування ТКО різних знаків у межах однієї структури. Для сучасної мікроелектронної елементної бази адитивні параметри неідеальності операційних підсилювачів вноситимуть нехтовно малі значення похибок.

1. *Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Поліщук Є.С., Дорожовець М.М, Яцук В.О. та ін.; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид-біт, 2003. – 544 с.* 2. *Яцук В.О., Малахівський П.С., Методи підвищення точності вимірювань: Підручник. – Львів: Бескид-біт, 2008. – 368 с.* 3. *Яцук В.О. Диференціальний метод вимірювання електричного опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. – С.32–37.* 4. *Яцук В.О. Компенсаційний метод побудови цифрових омметрів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2001. – Вип. – С.99–102.* 5. *Стадник Б., Сопільник Л., Яцук Ю. Особливості побудови цифрових резистивних термометрів підвищеної якості // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. – № 68. – С.111–115.* 6. *Яцук В.О. Принципи побудови кодированих мір опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – № 55. – С.111–115.* 7. *Дяк Р.П., Яцук В.О., Столярчук П.Г. Можливості автоматизації випробувань термоперетворювачів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. – С.99–102.* 8. *Дяк Р.П., Яцук В.О., Столярчук П.Г. Шляхи автоматизації робочих місць з випробувань теплообчислювачів загальнобудинкових теплотічників // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – № 70. – С.106–109.* 9. *Электрические измерения неэлектрических величин // Туричин А.М., Новицкий П.В., Левишина Е.С. и др.; Под ред. проф. П.Ф. Новицкого. Изд. 5-е, перер. и доп. – Ленинград: Энергия, 1975. – 576 с.* 10. *Удалов Н.П. Полупроводниковые датчики. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 239 с.* 11. www.elfa.com.

УДК 537.311.322

Р. Крайовський¹, В. Ромака²

¹Національний університет “Львівська політехніка”;

²Львівський національний університет ім. І. Франка

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОННОЇ ГУСТИНИ

© Крайовський Р., Ромака В., 2010

Досліджено вплив акцепторної домішки Ho на зміну кристалічної та електронної структур інтерметалічного напівпровідника $n-ZrNiSn$ у концентраційному діапазоні $x(Ho) = 0 \div 0,50$. Зроблені висновки про характер поведінки рівня Фермі (ϵ_F) $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$, механізми керування положенням ϵ_F та особливості функцій перетворення резистивних та термоелектричних термоелементів.

Постановка проблеми та мета роботи. Інтерметалічні напівпровідники $MNiSn$ ($M - Ti, Zr, Hf$) входять у коло термоелектричних та термометричних матеріалів, що інтенсивно вивчаються у світових дослідницьких центрах на предмет використання у процесі перетворення теплової енергії

на електричну та при вимірюванні температури [1]. Попередні дослідження показали, що легування інтерметалічного напівпровідника n -ZrNiSn атомами рідкісноземельних металів Y [2], Sc [3], Dy [4], атомні радіуси яких є більшими, ніж радіуси всіх складових напівпровідника, супроводжується упорядкуванням та стабілізацією кристалічної структури. Зокрема, атоми Y, Sc та Dy займають лише кристалографічні позиції атомів Zr, генеруючи дефекти акцепторної природи. Оскільки домішкові атоми займають одну і ту саму кристалографічну позицію, це дає змогу при легуванні напівпровідника отримувати матеріал з наперед заданими характеристиками у діапазоні концентрацій $x = 0 \div < 0,50$, для якого характерними є відтворюваність та стабільність термометричних характеристик. Це дасть змогу керувати основними фізичними закономірностями функцій перетворення термоелементів.

У цьому контексті цікаво було дослідити вплив атома рідкісноземельного металу Ho, уведеного у n -ZrNiSn, на зміну термометричних характеристик термоелемента. Для прогнозування поведінки термометричних характеристик напівпровідникового твердого розчину $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ досліджено кристалічну та електронну структури термометричного матеріалу і отримано математичні моделі цих структур. Для встановлення адекватності одержаних моделей виконано експериментальні дослідження електрокінетичних (питомий електроопір, коефіцієнт термо-ЕРС) та магнітних (магнітна сприйливість, намагніченість) характеристик $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$. Дослідження дадуть змогу прогнозувати отримання термометричних елементів з наперед заданими властивостями.

Дослідження кристалічної структури $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$. Метою структурних досліджень сильнолегованого інтерметалічного напівпровідника $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ була побудова моделі розташування атомів (або їх відсутності) у вузлах елементарної комірки. Рентгенівські фазовий та структурний аналізи показали, що всі зразки є однофазними; дифрактограми індексуються у структурному типі MgAgAs і на них відсутні відбиття, які можна було би ідентифікувати з неконтрольованими фазами. Брегівський фактор невідповідності R_B моделі кристалічної структури $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ результатам рентгенівських досліджень не перевищує 4 %. Уточнення кристалічної структури $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ показало, що введення атомів Ho у структуру сполуки ZrNiSn супроводжується упорядкуванням кристалічної структури, 100 % зайняттям позицій правильної системи точок атомів Zr(Ho) та Ni. Окрім того, значення періодів елементарної комірки $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ (рис. 1) монотонно зростають у разі збільшення вмісту атомів більшого розміру. Залежність $a(x)$ $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ відхиляється від лінійної при концентрації $x \approx 0,43$, зразки стають багатофазними, а склад сполуки $\sim Zr_{0,59}Ho_{0,41}NiSn$ фіксує межу його існування.

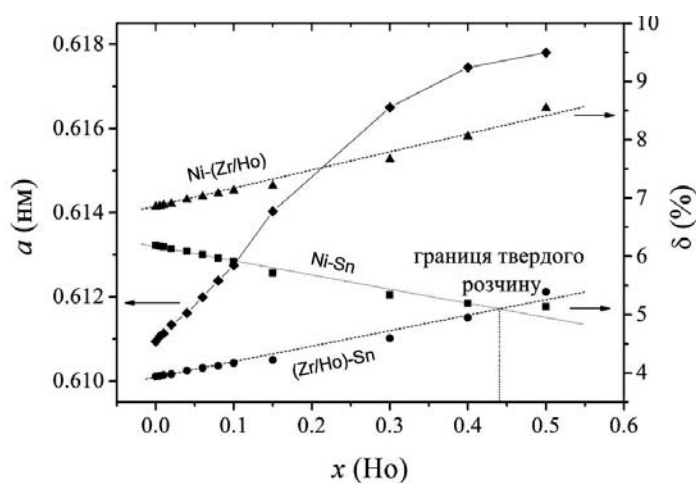


Рис. 1. Зміна значень періоду елементарної комірки $a(x)$ та відносного зкорочення міжатомних відстаней $\delta(x)$ у кристалічній структурі $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$

Розрахунки кристалічної структури $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ показали також, що міжатомні відстані Ni–Zr(Ho), Sn–Ni та Sn–Zr(Ho) є меншими, ніж сума відповідних атомних радіусів (рис. 1), засвідчуючи внесок ковалентної складової у хімічних зв'язках напівпровідника. У разі збільшення вмісту атомів Ho значення відносного закорочення (δ) між атомами Ni–Zr(Ho) та Sn–Zr(Ho) збільшуються, що вказує на збільшення частки ковалентних зв'язків, а між атомами Sn–Ni – зменшуються, вказуючи на зменшення частки ковалентної складової у $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$. Отже, уведення атомів рідкісноземельного металу Ho у структуру ZrNiSn, як і у випадку легування атомами Y, Sc та Dy, веде до деформацій елементарної комірки: у напрямках Ni–Zr(Ho) та Sn–Zr(Ho) діє деформація стиску, а у напрямі Sn–Ni – розтягу. За певних концентрацій атомів Ho деформаційні процеси руйнують структуру $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$.

На рис. 1 також показано результат апроксимації (штрихова лінія) відносних закорочень міжатомних відстаней у структурі $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ до значень $x = 0,5$. Також, як і у випадку уведення атомів Y, Sc та Dy n -ZrNiSn, точка перетину різнонапрямлених деформацій вздовж напрямів Ni–Sn та Zr–Sn збігається з концентрацією атомів Ho, починаючи з якої досліджені зразки стають багатофазними; заміщення атомів Zr на атоми Ho у структурі $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ без зміни типу кристалічної ґратки продовжуватиметься до значень $x < 0,43$. ця точка визначає межу існування твердого розчину $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$. На іншій стороні $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ реалізується сполука YNiSn (структурний тип TiNiSi, просторова група $Pnma$). Порівнюючи результати структурних досліджень $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ з такими при легуванні n -ZrNiSn атомами Y, Sc та Dy, можемо відзначити закономірність щодо протяжності області існування твердого розчину: чим меншим є атомний радіус рідкісноземельного металу, тим більшою є область існування $Zr_{1-x}R_xNiSn$. Цей висновок є зрозумілим на “геометричному рівні”: чим меншим є атомний радіус домішкового атома, тим більша концентрація домішки увійде у напівпровідник без руйнування структури типу MgAgAs.

Отже, легування інтерметалічного напівпровідника n -ZrNiSn атомами рідкісноземельного металу Ho супроводжується упорядкуванням та стабілізацією кристалічної структури, атоми Ho заміщають лише кристалографічні позиції атомів Zr, генеруючи дефекти акцепторної природи. Це дає змогу отримувати матеріал $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ з наперед заданими характеристиками у діапазоні концентрацій $x = 0 \div < 0,43$, зокрема, лінійку термоелектричних матеріалів як з від’ємними, так і з додатними значеннями коефіцієнта термо-ЕРС. Можемо прогнозувати відтворюваність та стабільність властивостей твердого розчину $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$.

Дослідження розподілу електронної густини. Для прогнозування термометричних характеристик $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ здійснений розрахунок розподілу електронної густини (рис. 2). Симетричність картини DOS пов’язана із розщепленням магнітним полем атомів рідкісноземельного металу електронних рівнів, чому відповідають залежності зі спіном “вгору” та “вниз”. Бачимо, що уведення незначних концентрацій Ho ($x = 0,01$) призведе до дрейфу рівня Фермі від дна зони провідності у напрямі валентної зони, однак при цих концентраціях акцепторних домішок основними носіями струму $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ все ще будуть електрони, чому в експерименті відповідатимуть від’ємні значення коефіцієнта термо-ЕРС.

Рівень Фермі розташується точно між зонами провідності та валентною при концентраціях домішки Ho, що становить $x \gg 0,02$. Така концентрація акцепторної домішки у напівпровіднику електронного типу провідності відповідає стану повної компенсації напівпровідника, чому відповідатимуть найменші значення густини станів на рівні Фермі (рис. 3), максимальні значення питомого електроопору, а значення коефіцієнта термо-ЕРС будуть близькими до нуля.

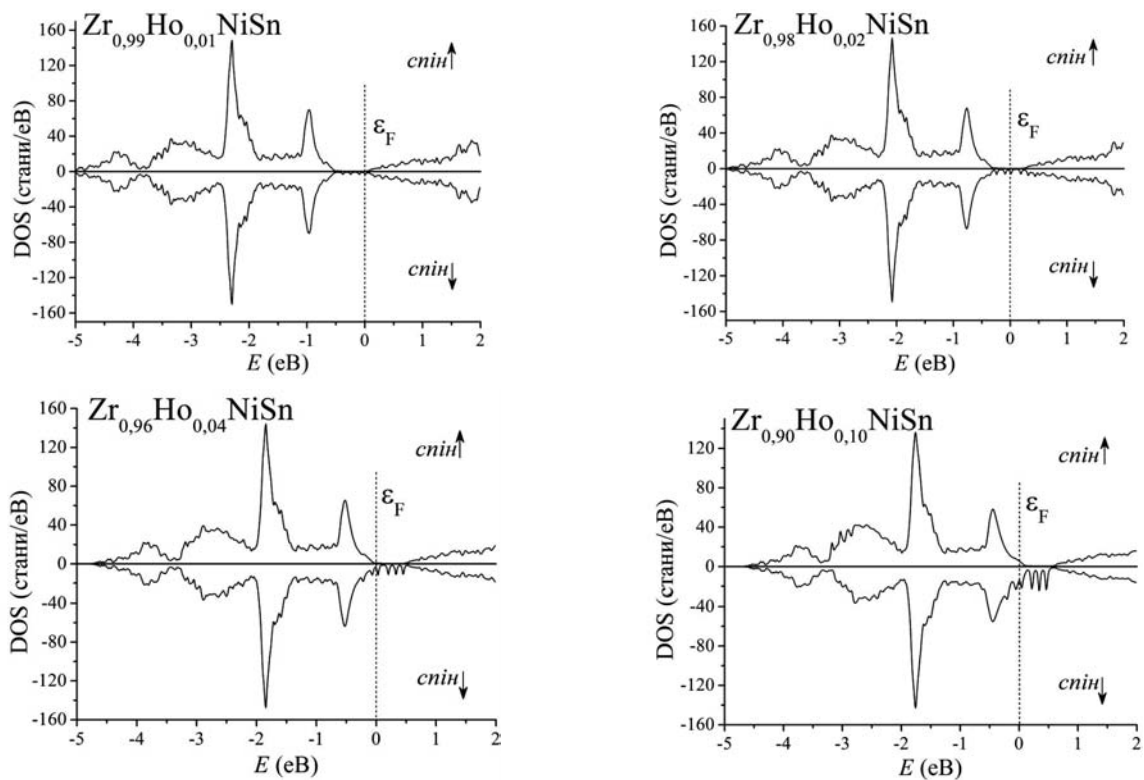


Рис. 2. Розподіл електронної густини (DOS) $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$

При збільшенні концентрації вмісту Ho у сполучі $ZrNiSn$ відбудеться перекомпенсація напівпровідника, що проявиться зміною знака коефіцієнта термо-ЕРС з від'ємного на додатний. Розрахунки також показують, що при концентраціях атомів рідкісноземельного металу $x \gg 0,08$ рівень Фермі перетне рівень протікання валентної зони – реалізується перехід провідності діелектрик–метал (перехід Андерсона). У такій ситуації відбудеться зменшення швидкості зміни значень густини станів на рівні Фермі (рис. 3), що проявиться зменшенням крутості залежності $DOS_{\epsilon_F}(x)$ при $x \approx 0,08$.

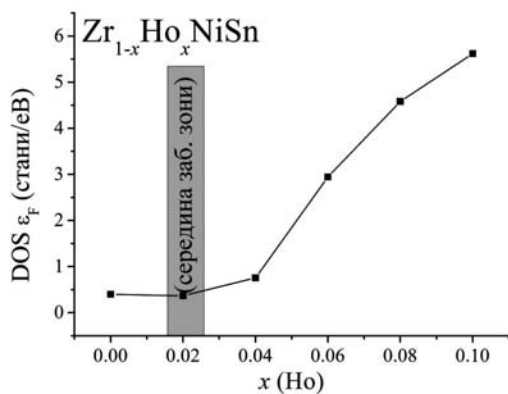


Рис. 3. Зміна значень густини станів на рівні Фермі $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$, $x = 0 \div 0,1$

З наведених результатів легування інтерметалічного напівпровідника n - $ZrNiSn$ атомами Ho впливає, що останні змінюють картину розподілу електронної густини, властиву нелегованому напівпровіднику, однак зберігається встановлена вище тенденція щодо монотонного дрейфу рівня Фермі від дна зони провідності аж до перетину із валентною зоною та дрейфом по зоні неперервних енергій. Така передбачуваність поведінки рівня Фермі та можливість керування його розташуванням у енергетичному спектрі напівпровідникового твердого розчину $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ створює передумови для отримання матеріалів з наперед заданими характеристиками.

Дослідження електрокінетичних характеристик. Додавання у n - $ZrNiSn$ мінімальної кількості атомів Ho, які, займаючи позиції атомів Zr, генерують дефекти акцепторної природи, призводить до появи вільних дірок у напівпровіднику електронного типу провідності. Це є

причиною збільшення ступеня компенсації $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$, а рівень Фермі починає дрейфувати до валентної зони. Факт появи у напівпровіднику вільних дірок, внесок яких зростає зі збільшенням концентрації домішкових атомів Ho, доводять концентраційні залежності питомого опору $r(x)$ за різних температур (рис. 4).

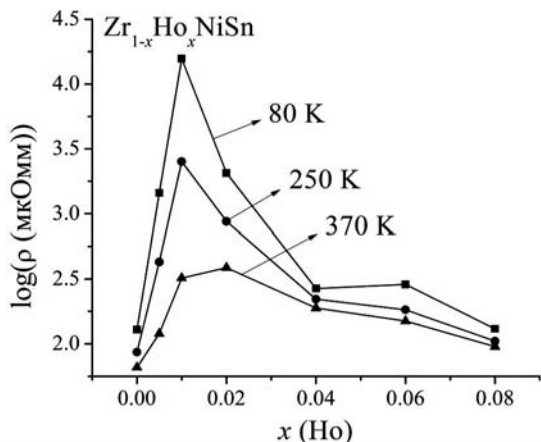


Рис. 4. Зміна значень питомого електроопору $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$

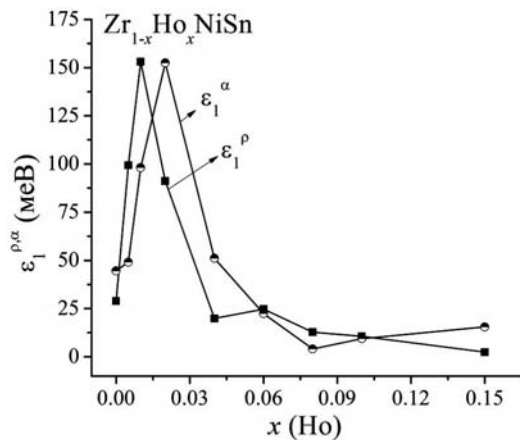


Рис. 5. Зміна значень енергії активації $e_1^r Zr_{1-x}Ho_xNiSn$

Бачимо, що при $T = 80$ К значення $r(x)$ збільшуються: $r_{x=0} = 1,29 \times 10^2$ мкОм·м та $r_{x=0,005} = 1,44 \times 10^3$ мкОм·м. Така поведінка $r(x)$ зумовлена зменшенням густини станів на рівні Фермі при збільшенні ступеня компенсації напівпровідника. На цій самій концентраційній ділянці значення коефіцієнта термо-ЕРС є від'ємними, вказуючи на електронний тип провідності $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$. Максимум на залежності $r(x)$ спостерігається при концентрації домішки, яка є близькою до стану повної компенсації напівпровідника – концентрації електронів та дірок урівноважені, а значення коефіцієнта термо-ЕРС прямують до нуля. Зменшення значень $r(x)$ при $x \approx 0,02$ ми пов'язуємо з перетином рівнем Фермі середини забороненої зони і дрейфом у напрямі валентної зони, що призведе до збільшення концентрації вільних дірок. На це вказує також додатний знак коефіцієнта термо-ЕРС. Незмінність $a(x)$ та зменшення значень $r(x)$ у діапазоні концентрацій $x \approx 0,12, 0,15$ вказує на перетин рівнів Фермі та протікання валентної зони, тобто реалізується перехід провідності ізолятор-метал і зростає концентрація вільних дірок.

Доказом саме такого процесу є збільшення значень $e_1^a(x)$ (амплітуди модуляції) при $0 < x \leq 0,02$. Максимальні значення енергій активації для складу напівпровідника $Zr_{0,99}Ho_{0,01}NiSn$ вказують, що рівень Фермі розташувався поблизу середини забороненої зони, а напівпровідник є близьким до стану компенсації.

Зменшення значень $e_1^a(x)$ у $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$, $x > 0,02$, як і передбачає теорія СЛСКН [4], свідчить про зменшення ступеня компенсації напівпровідника внаслідок збільшення концентрації вільних дірок у напівпровіднику тепер вже діркового типу провідності. Стрімке зменшення значень $e_1^r(x)$ у діапазоні концентрацій домішки $x = 0,01 \div 0,04$, а також поступове їх зменшення на ділянці $x = 0,04 \div 0,15$ відображає динаміку руху рівня Фермі до рівня протікання валентної зони.

Наведені результати корелюють з результатами динаміки парціального внеску компонентів $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ у зміну густини станів на рівні Фермі (рис. 3). З рис. 3 видно, що мінімум на залежності $DOS(x)$ відповідає станам максимальної компенсації напівпровідника: значення питомого опору $r(x)$ – найбільші, а термо-ЕРС – близькі до нульових. Мінімальними є значення DOS практично для всіх компонентів $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$, а найбільші зміни відзначаються для атомів Ni

та Zr; атоми Ni витісняються з ~1% кристалографічних позицій атомів Zr, які вони займали, а атоми Zr заміщуються атомами Ho. Зрозумілим є найбільший внесок у DOS атомів Ho при $x \approx 0,04$, оскільки їх концентрація лише збільшується, а $Zr_{1-x}Ho_xNiSn$ стає напівпровідником діркового типу провідності.

Робота виконана відповідно до гранту Міністерства освіти і науки України, № 0109U001151.

1. Tritt T.M., Sabramanian M.A. *Thermoelectric Materials, Phenomena, and Applications: A Bird's Eye View // MRS Bulletin*– 2006.– Vol. 31, № 3. – P. 188–198. 2. Romaka V.A., Hlil E.K., Ya.V. Skolozdra, Rogl P., Stadnyk Yu.V., Romaka L.P., Goryn A.M. *Features of the Mechanisms of Generation and “Healing” of Structural Defects in the Heavily Doped Intermetallic Semiconductor n-ZrNiSn // Semiconductors*. – 2009. – V. 43, № 9. – P 1115–1123 (2009). 3. Stadnyk Yu.V., Romaka V.A., Gorelenko Yu. K., Romaka L.P., Fruchart D., Chekurin V.F. *Metal-insulator transition induced by changes in composition in $Zr_{1-x}Sc_xNiSn$ solid solution range // Journal of Alloys and Compounds*. – 2005. – V. 400. – P. 29–32. 4. Romaka V.A., Fruchart D., Romaka V.V., Hlil E.K., Stadnyk Yu.V., Gorelenko Yu.K., Akselrud L.G. *Features of the Structural, Electrokinetic, and Magnetic Properties of the Heavily Doped ZrNiSn: Dy Acceptor Impurity // Semiconductor*. – 2009, V.43, № 1, pp. 7–13.5. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. *Электронные свойства легированных полупроводников // – М.: Наука. – 1979. – 416 с.*

УДК 681.3

О.І. Гарасимчук

Національний університет “Львівська політехніка”

ОРГАНІЗАЦІЯ САНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ НА ПІДПРИЄМСТВІ

© Гарасимчук О.І., 2010

Охарактеризовано антропогенні джерела загроз безпечної діяльності підприємства. Описані основні етапи, принципи та засоби організації системи санкціонованого доступу на підприємстві. Наведено класифікацію автоматизованих систем управління доступом та методів ідентифікації осіб.

In the articles considered description of anthropogenic sources of threats safe activity of enterprise. The basic stages, principles and facilities of organization of the system of the sanctioned access on an enterprise are described. Classification of the automated system of control access and methods of authentication persons it is resulted.

Вступ. Нині питання побудови системи захисту є дуже актуальними та постійно ускладнюються. Це зумовлено стрімким розвитком сучасного ринку інформаційних та комп'ютерних технологій, засобів електронного обміну інформацією, засобів захисту інформації, а також засобів несанкціонованого отримання інформації. У зв'язку з цим з'явилися та постійно вдосконалюються різноманітні технічні, програмні, організаційні та інші способи вирішення питань, пов'язаних з побудовою комплексних систем санкціонованого доступу та питань, пов'язаних із захистом інформації загалом, незважаючи на її належність (державної, військової, комерційної, фінансової тощо).

Оскільки неможливо запропонувати вирішення питань побудови комплексної системи санкціонованого доступу, які були б однаковими для всіх типів підприємств, організацій тощо, то в