

### Проблемы создания радиолокационного вооружения для ведения боевых действий в условиях применения гиперзвуковых летательных аппаратов

М.Ф. Пичугин, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, Ю.В. Трофименко, И.М. Пичугин, М.В. Борцова, О.Ю. Чернявский

*Рассматриваются основные тактические и технические проблемы построения комплексов обнаружения-обезвреживания гиперзвуковых летательных аппаратов в активно-пассивной многопозиционной РЛС (МП РЛС), оценивание их параметров, оценивание степени опасности обнаруженных объектов при создании системы воздушно-космической защиты от них при использовании доработанных РЛС РТВ, средств ПВО Сухопутных войск, средств ЗРВ и РЭБ, и излагаются основные требования к быстрдействию и степени автоматизации принятия решения.*

**Ключевые слова:** радиолокационное вооружение, обнаружение радиосигналов, гиперзвуковые летательные аппараты, оценивание координат, полный вектор скорости цели, степень опасности.

### Problems of Creation of Radar Armament for Warfare where Hypersonic Aircrafts are Used

M. Pitchugin, A. Yatsutsenko, D. Karlov, Yu. Trofimenko, I. Pitchugin, M. Bortsova, O. Chernyavsky

*Basic tactic and technical challenges at creation of hypersonic aircrafts detection-disarming complexes in active-passive multipoint radar system, difficulties of estimating parameters and hazard degree of the detected objects at creating space-air defense systems with the usage of improved radar systems of radio-radar troops, of anti-aircraft means of ground troops, of anti-aircraft means of missile troops and electronic warfare means are regarded. General requirements to the rate and level of decision-making automation are discussed.*

**Keywords:** radar armament, radio-signals detection, hypersonic aircrafts, coordinates estimation, complete target velocity vector.

---

УДК 623.465.35

B.O. Seredyuk

National Academy of Land Forces named after Hetman Petro Sakhajdachnyj, Lviv

### ANALYSIS OF ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR CRYSTALS OF InSe TYPE INTERCALATED BY METALS DUE TO THEIR MILITARY APPLICATIONS

*The applications of magnetoresistance structures based on semiconductor crystals of InSe for high precision measurement of the magnetic field are outlined in this article. Possibilities of using magnetic field sensors based on InSe structures for revealing the armour military vehicles are discussed. The impact of metal impurities on the layered structure of the semiconductor material as referred to the strong covalent bond within the layers as well as the weak van-der-Waals bond in the interlayer space is studied. Nyquist diagrams for In<sub>4</sub>Se<sub>3</sub> crystal with the impurities of chromium, copper and germanium at different temperatures ranging from room temperature to liquid nitrogen are analyzed. The influence of metal impurities and its concentration on the electrical and magnetic properties of semiconductor crystals of the InSe type is discussed.*

**Keywords:** semiconductor, impedance, magnetic field, nanostructures.

**Introduction.** The magnetic field by its nature is very difficult to shield from. Earth due to the rotation around its axis creates a magnetic field (20 — 60) microTesla on its surface. Military armored vehicles consist of dozens of tons of ferromagnetic material which is affected by the Earth's magnetic field creating its own magnetic moment. That leads to the distortion of the magnetic field, which can be detected using magnetoresistive structures.

**Analysis of recent research and publications.** Nowadays sensitive magnetic sensors are used in many technical systems, including modern anti-tank missiles to identify the center of the target area and a minimal armor region. Besides compounds based on magnetoresistive structures are resistant to temperature extremes, and ionizing radiation, so they are promising for use in guidance systems of modern microprocessor warheads [1].

Magnetoresistive structures can not only provide a Coulomb blockade of the electric current, but also create conditions for the emergence of new unique magnetic properties that serve as the basis for new approaches to technology issues – information carriers. In particular, the giant magnetoresistive effect in nanostructures with alternating semiconductor and metal layers offers the prospect of a radical restructuring of materials technology – development of information carriers and the creation of highly effective quantum computers.

**Basic statements.** Magnetic sensors numerically register these perturbations (anomalies) of the background magnetic field of the Earth, and modern methods of digital processing of analog signals allow a relatively accurate determination of the mass, direction and speed of the above mentioned objects [2]. Over the past 30 years magnetoresistive structures boost their share role on sensor technology sector of the market of weaponry.

Magnetoresistive structure - objects that have the ability to alter their current-voltage characteristics depending on changes in the external magnetic field. Sensors based on magneto-resistive structures are highly sensitive to the magnetic field fluctuations ( $10^{-15}$ T at temperatures of liquid helium, and  $10^{-13}$ T at room temperature) [3]. This property is used in a wide field of military technologies, such as: navigation, detection of submarines, missile guidance to the target, and more.

In the 70th of last century the first prototypes of magnetic field sensors in which small perturbations of the background magnetic field caused a change in electrical resistance by 10% were developed. Given the precision for measuring the electrical resistance already at that time military equipment incorporating electronic components based on these structures proved to be effective and was adopted by the armed forces of several countries.

In 1988 a giant magneto resistive effect has been discovered proving that resistivity in a thin film of non-magnetic material (Cr), squeezed between two layers of ferromagnetic (Fe) in the presence of a magnetic field is twice less than under its absence [4].

The explanation of this phenomenon is based on a quantum-mechanical theory according to which the conduction electron spins of the magnetic material have the same direction in the presence of the magnetic field. When no external magnetic field is applied, magnetization of the adjacent ferromagnetic layers is opposite, due to a weak anti-ferromagnetic interaction. In a magnetic field direction of the magnetic moments of the two layers coincides leading to a decrease of scattering of the conduction electrons in the crystal lattice sites.

**The purpose of the article.** To investigate the effect of giant magnetoresistance effect on magnetic

sensors based on semiconductor crystals, such as InSe, GaSe with mixtures of chromium, copper and germanium. Find out under what temperatures the structures of InSe, GaSe crystals will experience their maximum sensitivity to the perturbations of the Earth's magnetic field. To analyze the impact of metallic impurity, its concentration and temperature on the electrical and magnetic properties of semiconductor crystals such as InSe.

**Presenting main material.** The studied layered semiconductor InSe crystal intercalated by Ni is not an ideal resistor because the alternating ferromagnetic (Ni) and diamagnetic (InSe) nanolayers create a distributed capacitance. Therefore, to study these structures the method for determining the current-voltage characteristics for alternating current is used [4]. InSe structure is characterized by the fact that it can be viewed as quasi twodimensional. In-Se atoms form layers with strong covalent bond, while interlayer space is filled with a weak Van der Waals bond. This leads to strong anisotropy of the properties of these structures.

Introduction (intercalation) of different by their properties foreign atoms, in particular metallic atoms of the iron transition group into the structure of the layered crystal expands the range of new compounds with unique properties. The appearance of even a small concentration of magnetic impurities in the InSe crystal may significantly affect the electrical, magnetic and optical properties of the crystal. Lattice, in its turn, will affect the magnetic moment of the intercalant leading to anomalous kinetic and magnetic properties of such structures [5].

For example, the introduction of the element of 3d-iron group in the  $\text{TiSe}_2$  matrix leads to the formation of Ti-M-Ti covalent centers. In the case of  $\text{M}_x\text{TiSe}_2$ , (where M - metal atoms of Ni, Co, Ag) intercalation is accompanied by a decrease in the lattice constant along the anisotropy axis [6].

The covalent centers of In-M-In in the  $\text{Ni}_x\text{InSe}$  structure can act as traps for free charge carriers, on the one hand, and as centers of lattice distortion on the other. Since the introduction of metal atoms of 3d-iron group into the matrix of the layered semiconductor crystals significantly affects their properties, then the magnetization can be assumed to be an important factor regulating the above mentioned effects under the influence of an external magnetic field [5-6]. The influence of metal atoms of 3d-iron group on the matrix of semiconductor layered crystals was studied in detail in [7]. Some peculiarities of the behavior of  $\text{In}_4\text{Se}_3$  doped by metallic impurities have been discussed in [8]. Impedance spectroscopy measurements in the frequency range of  $10^{-3} \div 10^6$  Hz were carried out using a measuring complex "AUTOLAB" by the company "ECO CHEMIE".

To investigate the effect of metallic impurities on the layered  $\text{In}_4\text{Se}_3$  structure the dependences of the imaginary impedance component as a function of real one for: 1)  $\text{In}_4\text{Se}_3$  with Cr (0,05%); 2)  $\text{In}_4\text{Se}_3$  with Cu (10%); and 3)  $\text{In}_4\text{Se}_3$  with Ge (0,2%) are outlined on the Figures below.

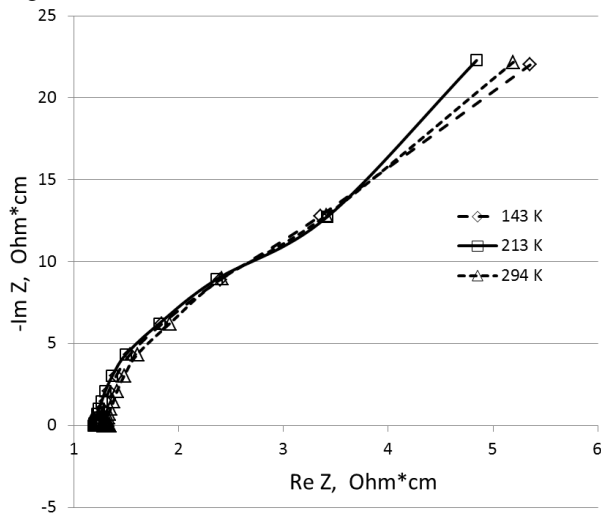


Fig. 1. Nyquist diagrams for  $\text{In}_4\text{Se}_3$  with Cr (0,05%) for various temperatures

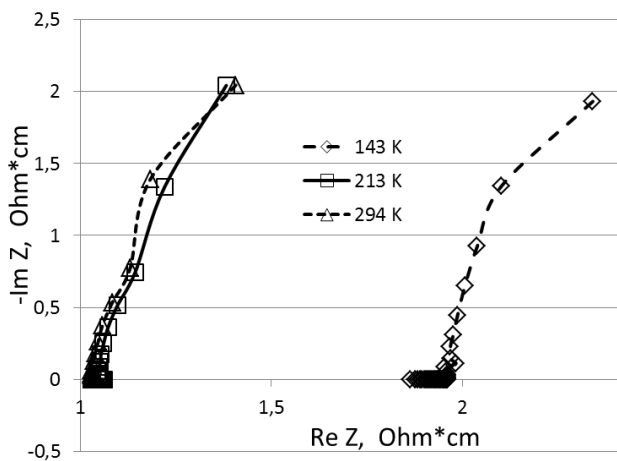


Fig. 2. Nyquist diagrams for  $\text{In}_4\text{Se}_3$  with Cu (10%) for various temperatures

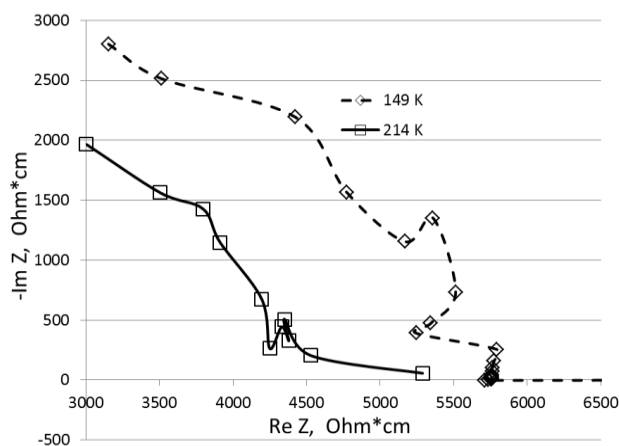


Fig. 3. Nyquist diagrams for  $\text{In}_4\text{Se}_3$  with Ge (0,2%) for various temperatures

## Conclusions

At low frequencies in all cases  $\text{Im } Z$  approaches zero so conductance is led by a real resistance component.  $\text{Im } Z$  is stable to temperature changes for Cr and Cu as opposed to Ge. This may be due to the fact that Cr and Cu measurements were carried out along the layers and for Ge case perpendicular to them. This once again highlights the strong anisotropy of layered semiconductor structures.

Structures with alternating layers of semiconductor and metal provide the fundamental possibility to control the magnetic properties. These structures have sharp anisotropy of magnetic susceptibility. Therefore, if such a sensor is fixed on the axis and set for rotation with some frequency (likewise radar station) then this system may allow tracking down the motion of the heavy armoured vehicles.

The investigated semiconductor crystals with impurities of 3d-elements can extend the functionality of modern magnetic sensors designed to detect heavy armor.

## References

1. Dalichaouch Y., Czipott, P., Perry A. Magnetic sensors for battlefield applications / Y. Dalichaouch, P. Czipott, A. Perry // Proc. SPIE – 2001. – Vol. 4393. – P. 129–134.
2. Lenz J., Edelstein, A.S. Magnetic Sensors and Their applications. / J. Lenz, A.S. Edelstein // IEEE Sens. J. – 2006. – № 6. – P. 631–649.
3. Bandyopadhyay S., Cahay M. Proposal for a spintronic femto-Tesla magnetic field sensor / S. Bandyopadhyay, M. Cahay // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2005. – № 1-2. – P. 98–103.
4. Phan M.H., Peng H.X. Giant magnetoimpedance materials: Fundamentals and applications / M.H. Phan, H.X. Peng // Progress in Materials Science. – 2008. – Vol. 53. – P. 323–420.
5. Zakharchenya B.P. Integrating magnetism into semiconductor electronics / B.P. Zakharchenya // УФН. – 2005. – Vol. 175, №11. – P. 629–675. (in ukrainian).
6. Titov A.N. Phase diagrams of the intercalate materials with a polar type of carriers localization / A.N. Titov, A.V. Dolgoshein // ФТТ. – 2000. – Vol. 42, №3. – P. 425–427. (in russian).
7. Shabatura Yu.V. The prospects of military applications of magnetic sensors base on GMR effect in  $\text{Ni}_x\text{InSe}$  / Yu.V. Shabatura, B.O. Seredyuk, S.V. Korolko, V.L. Fomenko // Military-technical book. – 2012. – Vol. 2. – № 7. – P. 80–84 (in ukrainian).
8. Seredyuk B. O. Analysis of electrical and magnetic properties of semiconductor crystals of inSe type intercalated by metals due to their military applications / B. O. Seredyuk // military-technical book. – 2016. – vol. 14 – P. 50–53 (in ukrainian).

**Рецензент:** д.т.н., проф. Б.І. Сокіл, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

**Аналіз електричних та магнітних властивостей напівпровідникових кристалів типу InSe, інтеркальованих металами, з огляду на їх військове застосування**

Б.О. Середюк

У статті виконаний аналіз перспектив застосування магніторезистивних структур на основі напівпровідникових кристалів типу InSe для прецизійного вимірювання магнітного поля. Розглянуто можливість застосування сенсорів магнітного поля на основі структури InSe для виявлення військової бронетехніки. Досліджено вплив домішок металів на шарувату структуру напівпровідникового матеріалу як на сильний ковалентний зв'язок всередині шару, так і на слабкий Ван-дер-Ваальсовий зв'язок у міжшаровому просторі. Проаналізовано діаграми Найквіста для кристалу  $In_4Se_3$  з домішками хрому, міді та германію при різних температурах – від кімнатної до температури рідкого азоту. Обґрунтовано вплив домішки металу та її концентрації на електричні та магнітні властивості напівпровідникових кристалів типу InSe.

**Ключові слова:** напівпровідник, імпеданс, магнітне поле, наноструктури.

**Анализ электрических и магнитных свойств полупроводниковых кристаллов типа InSe, интеркалированных металлами, с точки зрения их военного применения**

Б.О. Середюк

В статье выполнен анализ перспектив применения магниторезистивных структур на основе полупроводниковых кристаллов типа InSe для прецизионного измерения магнитного поля. Рассмотрена возможность применения сенсоров магнитного поля на основе структуры InSe для обнаружения военной бронетехники. Исследовано влияние примесей металлов на слоистую структуру полупроводникового материала, как на сильную ковалентную связь внутри слоя, так и на слабую Ван-дер-Ваальсовую связь в межслоевом пространстве. Проанализированы диаграммы Найквиста для кристалла  $In_4Se_3$  с примесями хрома, меди, и германия при различных температурах от комнатной до температуры жидкого азота. Обосновано влияние примеси металла и его концентрации на электрические и магнитные свойства полупроводниковых кристаллов типа InSe.

**Ключевые слова:** полупроводник, импеданс, магнитное поле, наноструктуры.

УДК 687.03:658.5

П.П. Ткачук, А.Д. Черненко, П.І. Ванкевич, Є.Г. Іваник

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

**МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ КОМПЛЕКТУ БОЙОВОГО ЕКІПРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

З використанням елементів теорії нечітких відношень та методу аналізу ієрархій розроблено розрахункову схему отримання обґрунтованої комплексної оцінки текстильних матеріалів, призначених для комплектування бойового екіпування бійця. За визначальну характеристику взято якість тканини, покладеної в основу формування одягу військовослужбовця. Прийнято до уваги десять критеріїв, що характеризують функціональність польової форми з урахуванням специфіки виконуваних бойових задач, на основі яких отримано кількісні параметри наявних типів текстильних матеріалів.

**Ключові слова:** текстиль, бойове екіпування, камуфляжні тканини, функціональне призначення, якісні і кількісні показники оцінки бойового екіпування, критерії функціональності, теорія прийняття рішень, теорія нечітких відносин, матриці порівнянь, ранжування критеріїв функціональності.

**Вступ**

На сьогодні в країнах НАТО (особливо США та Великобританії) відзначається нова тенденція: більше 60% всіх військових закупівель

направляється на індивідуальний захист військово-службовців – особливо розвідників, піхотинців, інженерів, техніків-механіків, тобто всіх тих, хто безпосередньо бере участь у бойових діях. Тому цільова структура військового бюджету країни має