

Магнітні та магніторезонансні властивості напівмагнітних напівпровідників:

- магнітне та зарядове упорядкування в напівпровідниках зі змішаною валентністю;
- гетероструктури для задач спінової електроніки.

Відповідальні: Бекіров Б.Е.(н.с.), Іванченко І.В., Попенко Н.О.

Експериментальне обладнання:

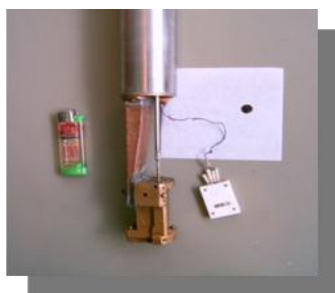
Багатофункціональний кріомагнітний комплекс ($T=4.2 - 300\text{K}$, магнітні поля $H=0 - 6.5\text{kE}$) дозволяє проводити дослідження напівпровідників наступними методами: ЕПР ($f=9-10\text{ГГц}$), ефекту Холла, ППВВ ($125 - 145\text{ГГц}$).



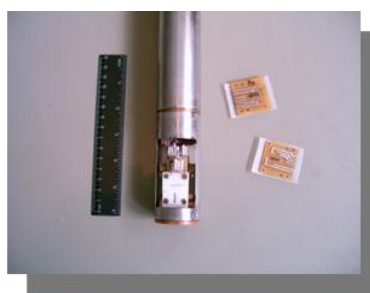
Багатофункціональний кріомагнітний комплекс

Практична реалізація вказаних вище методів дослідження забезпечується за допомогою наступних виміркових модулів для проведення комплексних досліджень напівпровідників:

- резонансної комірки 3-х сантиметрового ЕПР спектрометру, що являє собою одномодовий прямокутний резонатор. Визначені умови підвищення чутливості спектрометру для дослідження речовин с високою провідністю в широкому інтервалі температур;
- виміркового модулю для досліджень методом Холла, що дозволяє встановлювати дві касети з різними зразками та проводити вимірювання їх гальваномагнітних характеристик;
- модулю ППВВ (порушеного повного внутрішнього відбиття), що призначений для вивчення властивостей поверхні кристалів з використанням перетворювача електромагнітних хвиль у вигляді призми з границею повного внутрішнього відбиття, біля якої розташовується зразок.



а



б



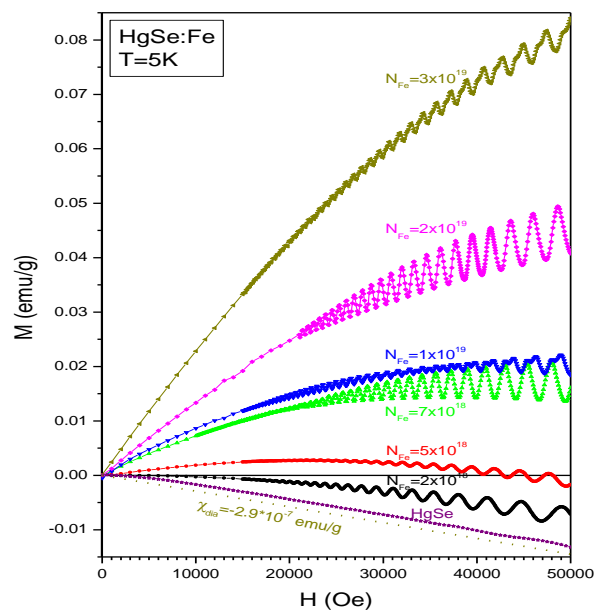
в

Виміркові модулі для дослідження характеристик напівпровідників:
ЕПР модуль (а), комірка для вимірювань методом Холла (б), модуль ППВВ (в).

Результати досліджень:

В результаті комплексного дослідження багатокомпонентних твердих напівпровідникових розчинів $\text{Hg}_{1-x}\text{X}_x\text{Se}$ ($X=\text{Co}, \text{Gd}, \text{Cr}, \text{V}, \text{Fe}$) як перспективних елементів гетероструктур встановлені наступні закономірності поведінки їх температурних та магнітних характеристик:

- в напівмагнітних напівпровідниках HgCrSe і CdHgCrSe визначені механізми переходу у феромагнітне впорядкування, а саме: для HgCrSe перехід обумовлений утворенням кластерів шпінелі HgCr_2Se_4 , а для CdHgCrSe – РККІ взаємодією;
- у новій контактній парі $\text{HgCdCrSe}/\text{HgMnTe}$ експериментально виявлена нелінійна вольт-амперна характеристика, що неявно свідчить про присутність спінополяризованого току в даній гетероструктурі;
- вперше зареєстровані та проаналізовані спектри ЕПР безщілинного напівмагнітного напівпровідника $\text{HgSe}:\text{Fe}$ в діапазоні температур $77\text{K} < T < 300\text{K}$ з концентрацією примісного заліза $2 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$ - $3 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$. Встановлені немонотонні температурні залежності ширини лінії поглинання та ефективного g – фактору, що пов'язано з формуванням в напівпровіднику впорядкованого стану заряджених донорів;
- визначений інтервал концентрацій примісного заліза, у якому спостерігається зміна домінуючого внеску в намагніченість кристалів $\text{HgSe}:\text{Fe}$ її діамагнітної та парамагнітної складових, а також критична концентрація заліза, при якій спостерігається різке зростання температури Кюрі-Вейса, що зумовлено спонтанною спіновою поляризацією системи гібридизованих електронних станів.



Польові залежності намагніченості кристалів $\text{HgSe}:\text{Fe}$ з різною концентрацією заліза та селеніду ртуті HgSe при температурі $T = 5\text{K}$.

Детальний виклад результатів представлено в публікаціях:

1. І.В. Іванченко, С.Ю. Карелін, Н.О. Попенко. Явище бістабільності в резонаторі з нелінійною границею у вигляді напівмагнітного напівпровідника. *«Радиофизика и электроника»*, 2005, Том 10, № 2, сс. 256-260.
2. S.E. Ostapov, I.N. Gorbatyuk, S.G. Dremlyuzhenko, V.V. Zhikharevich, I.M. Rarenko, R.A. Zaplitnyy, I.M. Fodchuk, V.G. Deibuk, N.A. Popenko, I.V. Ivanchenko, A.A. Zhigalov, S. Yu.Karelin. HgCdMnZnTe : Growth and physical properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 423 (2006), pp.139-143.
3. К. Lamonova, I. Ivanchenko, S. Orel, S. Paranchich, V. Tkach, E. Zhitlukhina, N. Popenko, and Yu. Pashkevich. Spectroscopic evidence of spinel phase clustering in solid

- solutions $\text{Hg}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Se}$ ($0.03 \leq x \leq 0.1$). “*Journal of Physics: Condensed Matter*”, vol. 21, no. 4, (045603), Jan. 2009.
4. Бекиров Б. Э., Иванченко И.В, Попенко Н.А., Чернобровкин Р.Е. Резонансная ячейка спектрометра ЭПР для исследований образцов с высокой проводимостью. *Радиофизика и электроника*, № 2, 2012, сс. 87-94.
 5. V. Bekirov, I. Ivanchenko, N. Popenko, V. Tkach. HgCrCdSe as the element of new heterostructure HgCrCdSe/HgMnTe. “*Functional Materials*”, Vol. 19, No. 3, 2012, pp.319-324.
 6. Б. Бекиров, И. Иванченко, А. Луханин, Н. Попенко. ЭПР спектрометр миллиметрового диапазона для исследования образцов с высокой проводимостью. *Радиофизика и Электроника*, 2013, т. 4(18), № 4, сс. 86-91.
 7. V. Bekirov, I. Ivanchenko, N. Popenko, A. Bludov, V. Pashchenko, V. Tkach. Magnetic and magnetoresonance properties of the solid solution $\text{Hg}_{0.5}\text{Cd}_{0.4}\text{Cr}_{0.1}\text{Se}$. “*Applied Magnetic Resonance*”, vol. 45, No 1, 2014, pp. 75-82.
 8. Б. Бекиров, И. Иванченко, Н. Попенко, К. Ламонова, Е. Житлухина, В. Бурховецкий, С. Орел, Ю. Пашкевич. Особенности температурного поведения ЭПР спектров селенида ртути, легированного железом, “*ФНТ*”, 2014, т. 40, № 7, с. 842–850.
 9. N. Popenko, V. Bekirov, I. Ivanchenko, A. Bludov, and V. Pashchenko. Concentration Anomalies of the Magnetization of HgSe:Fe Crystals. “*JETP Letters*”, 2014, Vol. 100, No. 4, pp. 247–250.