

**ДВОКОМПОНЕНТНІ СПЕКТРИ ЯМР ^{207}Pb В $n\text{-Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$,
ЛЕГОВАНОМУ ІНДІЄМ**

Проведено дослідження ядерного магнітного резонансу ядер ^{207}Pb в нелегованому і легovanому індієм твердому розчині $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ ($x=0.25$, $N_{\text{In}}=0.2$ ат.%). В зразках $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te:In}$ n -типу при $T=77$ К спостерігається двокомпонентний спектр ЯМР. Встановлено, що більша частина ядер ^{207}Pb взаємодіє з дірками валентної зони і значно менша - з електронами зони провідності. Зроблено висновок, що двокомпонентний спектр ЯМР обумовлений існуванням мікрообластей з різним типом провідності.

В твердих розчинах на основі сполук A^4B^6 з домішками елементів 3 групи виявлено ряд нових фізичних явищ. Зокрема, при легуванні індієм та галієм спостерігаються довгочасові релаксації фотопровідності [1]. Великий час життя нерівноважних носіїв зумовлює надзвичайно високу чутливість матеріалу до ІЧ-випромінювання. В роботі [2] виявлені об'ємно-нерівноважні стани в кристалах: $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te:In}$ при ІЧ-опроміненні. Для встановлення природи вказаних ефектів потрібна детальна інформація про стан домішок і дефектів в матриці, їхню взаємодію та перебудову під впливом зовнішніх факторів.

В даній роботі проведено дослідження спектрів ядерного магнітного резонансу на ядрах ^{207}Pb в твердому розчині $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te:In}$ та температурних залежностей резонансних полів в $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ n - і p -типу. На основі одержаних результатів зроблено висновок відносно мікрооднорідності твердих розчинів, легованих індієм.

Дослідження ядерного магнітного резонансу проведено на частоті 13.495 мГц по методиці роботи [3]. Для спостереження

динаміки форми резонансних кривих записувались другі похідні спектра, які більш чутливі до його змін порівняно з першими похідними.

Монокристали нелегованих і легованих індієм твердих розчинів $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$ ($x=0.25$, $N_{\text{In}}=0.2$ ат.%) одержані з парової фази, що гарантувало однорідність матеріалу по складу (відхилення не перевищує 0.1 ат.%). Проте розподіл домішки індію навіть при паровому рості є неоднорідним. В початковій частині злитку, яка кристалізується першою, вміст індію підвищений, в кінцевій - знижений. Відповідно, в першому випадку одержуються кристали n-типу з концентрацією $n_{77}=(2-4)\cdot 10^{14}$ см⁻³, в другому - p-типу з $p_{77}=2\cdot 10^{19}$ см⁻³.

Дослідження проведені на кристалах з високою структурною досконалістю, про що свідчать результати металографії. Так, в зразках відсутні малокутові границі зерен і включення сторонніх фаз, а густина дислокацій складає $2\cdot 10^4$ см⁻². Щоб виключити вплив пластичної деформації на спектри ЯМР [4], за допомогою поліруючого травника знято деформований шар, який виникає при різанні кристала.

На рисунку 1 приведені спектри ЯМР ядер ^{207}Pb в n- $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{In}$ з концентрацією $n_{77}=2\cdot 10^{14}$ см⁻³. При $T=300$ К спектр є однокомпонентним з симетричною кривою поглинання (крива 1), як і у випадку нелегованих твердих розчинів. При $T=77$ К спостерігається двокомпонентний спектр (крива 2), що було несподіванкою: при такій низькій концентрації електронів немає фізичних причин для зсуву резонансної частоти на ^{207}Pb . По відношенню до кривої поглинання 1 максимум інтенсивної компоненти (I_p) спектра 2 зміщений в сторону більших магнітних полів на 25 Гс, більш слабкої (I_n) - в сторону менших на 12 Гс.

Для з'ясування природи двокомпонентного спектра розглянемо температурні залежності резонансного поля (В) на ядрах ^{207}Pb в нелегованому твердому розчині $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ n- і p-типу з концентрацією вільних носіїв при $T=77$ К $2\cdot 10^{17}$ см⁻³ (рис.2).

Як і в PbTe [5], при $T=300$ К значення резонансних полів на

^{207}Pb в зразках n- і p-типу співпадають і рівні хімічному зсуву. Відомо, що резонансне поле на ядрах є сумою хімічного і найтовського (S_K) зсувів. Оскільки хімічний зсув практично не залежить від T , можна вважати, що криві $B=f(T)$ рисунка 2 відображають характер $S_K=f(T)$.

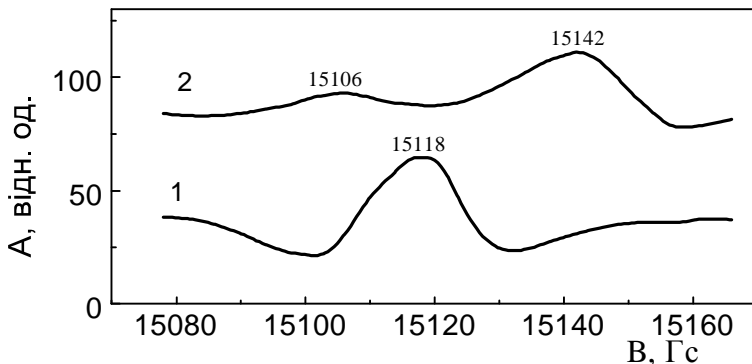


Рис.1. Спектри ЯМР ^{207}Pb в $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$, легованому індієм, при 300 К (1) і 77 К (2).

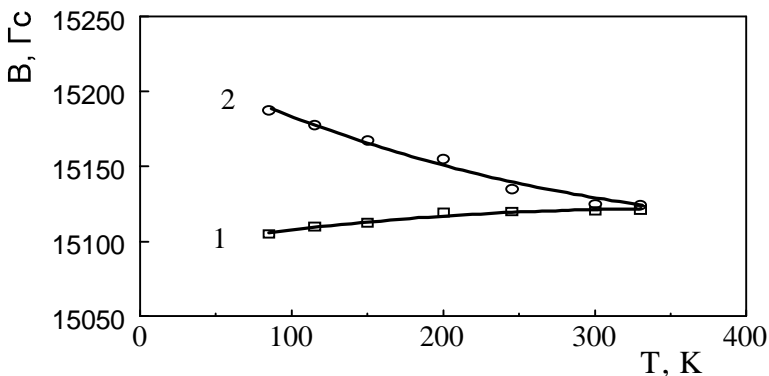


Рис.2. Температурна залежність резонансного поля на ядрах ^{207}Pb в твердому розчині $\text{Pb}_{0.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Te}$ з електронною (1) та дірковою (2) провідністю.

Залежність резонансного поля від T в зразках $Pb_{1-x}Sn_xTe$ р-типу описується кривою 2, де зсув Найта є результатом надтонкої взаємодії ^{207}Pb з дірками валентної зони [5]. В зразках n-типу (крива 1) спостерігається більш слабка температурна залежність, а зсув Найта обумовлений взаємодією ^{207}Pb з електронами зони провідності. З пониженням температури від 330 до 77 К резонансне поле на ядрах в зразках р-типу зростає: температурний зсув поля складає ≈ 60 Гс. В зразках n-типу резонансне поле, навпаки, зміщується в сторону менших значень приблизно на 20 Гс.

Як бачимо, температурний зсув резонансного поля на ^{207}Pb в $Pb_{1-x}Sn_xTe$ р-типу аналогічний зсуву компоненти I_p , а в зразках n-типу - аналогічний I_n . Отже, можна зробити висновок, що компонента I_p обумовлена ядрами ^{207}Pb , які взаємодіють з дірками валентної зони, а I_n - ядрами, які взаємодіють з електронами зони провідності. З відношення відносних інтенсивностей компонент $I_p/I_n \approx 20$ слідує, що більша частина ядер ^{207}Pb в кристалах $Pb_{1-x}Sn_xTe:In$ з електронною провідністю взаємодіє з дірками валентної зони.

Одночасна присутність двох типів ядер ^{207}Pb з різними механізмами надтонкої взаємодії свідчить про мікронеоднорідність легованого індієм твердого розчину. Двокомпонентний спектр ядер ^{207}Pb , який спостерігається при $T=77$ К, пов'язаний з існуванням мікрообластей кристала з різним типом провідності. Очевидно, наявністю таких мікрообластей можна пояснити об'ємно-нерівноважні стани, які виникають в $Pb_{1-x}Sn_xTe:In$ при ІЧ-опроміненні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кайданов В.И., Равич Ю.И. Глубокие и резонансные состояния в полупроводниках типа A^4B^6 // УФН-1985-**145**, №1-С.51-86.
2. Объемно-неравновесные состояния в $Pb_{1-x}Sn_xTe<In>$ / Акимов Б.А., Брандт Н.Б., Егоров К.Н., Луцив Р.В., Чесноков С.Н., Хохлов Д.Р. // ФТП-1987-**21**-№8-С.1379-1381.

3. Сдвиг Найта при сегнетоэлектрическом фазовом переходе в $Pb_{1-x}Ge_xTe$ и $SnTe$ // Слынько Е.И., Хандожко А.Г., Летюченко С.Д., Копыл А.И. // Известия АН СССР, сер. физ.-1987-**51**, №12-С.2136-2141.
4. Слынько Е.И. Влияние пластической деформации на ЯМР в $PbTe$ / Сб.Физические основы полупроводникового матери-аловедения-Наук. думка, 1986-С.48-50.
5. Hewes C.R., Adler M.S., Senturia S.D. Nuclear-Magnetic-Resonance Studies in $PbTe$ and $Pb_{1-x}Sn_xTe$: An Experimental Determination of k-p Band Parameters and Magnetic Hyperfine Constants // Phys. Rev. B - 1973 - **7**, №12 - P.5195-5212.

SUMMARY

SLYNKO E.I.

TWO-COMPONENT NMR SPECTRA OF ^{207}Pb IN THE INDIUM-DOPED n- $Pb_{1-x}Sn_xTe$

An investigation of the nuclear magnetic resonance of ^{207}Pb nuclei has been carried out in the undoped and indium-doped $Pb_{1-x}Sn_xTe$ solid solution ($x=0.25$, $N_{In}=0.2$ at.%). The two-component NMR-spectrum is being observed in an n-type $Pb_{1-x}Sn_xTe:In$ samples at $T=77K$. It is ascertained, that the greater part of ^{207}Pb nuclei interacts with the valence band holes and considerably the smaller one - with the conduction band electrons. The conclusion was made, that the two-component NMR-spectrum is conditioned by the existence of the microregions with the different type of the conductivity.