

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИМОНИДА ИНДИЯ, ОБЛУЧЕННОГО НЕЙТРОНАМИ И РЕНТГЕНОВСКИМИ ЛУЧАМИ

Г.А. Вихлий, А.Я. Карпенко, П.Г. Литовченко

Приведены предварительные результаты исследований гальваномагнитных характеристик монокристаллического n-InSb после последовательного облучения при 77 К быстрыми нейтронами реактора и Rhe 40 кэВ и последующего отжига. Сделан вывод о возможности использования приготовленного по указанной технологии антимоноида индия в качестве материала для низкотемпературных дозиметров рентгеновского излучения.

Антимоноид индия – один из самых изученных объектов радиационной физики полупроводников. Он широко используется в качестве материала для сенсоров, работающих в полях радиации (в космосе, на ускорителях заряженных частиц и т.п. [1]). Довольно хорошо изучены радиационные дефекты и характеристики InSb после облучения нейтронами [2]. Интересные результаты получены на антимоноиде индия, облученном рентгеновскими лучами [3]. Представляют интерес исследования характеристик антимоноида индия при комплексном воздействии различных видов ядерных излучений. В настоящей работе приведены предварительные результаты исследования гальваномагнитных характеристик монокристаллов n-InSb при последовательном облучении быстрыми нейтронами реактора и Rhe 40 кэВ при температуре 77 К и последующем отжиге.

Исходные образцы – монокристаллический n-InSb<Ge>,  $n_{77\text{ К}} \approx 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , форма – двойной крест, рабочая область -  $2 \times 8 \text{ мм}^2$  при толщине около 1мм. До и после облучения, в процессе изохронного отжига измерялись температурные зависимости коэффициента Холла и проводимости в слабых полях в интервале температур 4.2 – 400 К. В процессе измерений образцы находились в атмосфере гелия. Образцы облучались: 1) быстрыми нейтронами реактора ВВР-10М флюэнсом  $1.3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$  при температуре 77 К; 2) без разогрева выше 77 К образцы переносились на рентгеновскую установку, где облучались Rhe 40 кэВ в течение 1 ч при температуре 77 К с двух сторон. Изохронный отжиг (30 мин при каждой температуре) проводился в вакууме  $10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$  по данным коэффициента Холла и проводимости при базовых температурах 4.2, 50 и 80 К.

Чтобы оценить вклад нейтронного и рентгеновского облучений на характеристики материала при комплексном облучении на рис. 1 и 2 приведены температурные зависимости проводимости и коэффициента Холла при различных флюэнсах нейтронов; рис. 3 и 4 демонстрируют изохронный отжиг образцов, облученных быстрыми нейтронами и рентгеном соответственно. Видно, что с ростом флюэнса нейтронов концентрация носителей заряда и проводимость в образцах уменьшаются, причем при температурах, ниже азотной, может иметь место конверсия типа проводимости (n - p). Образцы именно в таком состоянии были подвергнуты облучению Rhe. Отжиг радиационных дефектов (РД), введенных нейтронным облучением, практически проходит в одну стадию с центром около 140 К, (см. рис. 3). Уменьшение концентрации носителей заряда при отжиге выше 650 К обусловлено введением термоакцепторов. Отжиг образцов p-InSb (на образцах n-типа влияние рентгеновского облучения на характеристики материала практически отсутствует) после Rhe 250 и 55 кэВ приведен на рис. 4. Он проходит в одну четко выраженную стадию с центром около 103 К. Обсуждения природы РД в нейтронно- и Rhe-облученных образцах мы здесь не делаем – этому вопросу посвящено много работ.

Рис. 5 – 8 иллюстрируют вторую часть работы по воздействию Rhe на характеристики близких к (n - p)-конверсии (при T около 77 К и ниже) образцов n-InSb после нейтронного облучения при 77 К. На рис. 5 видна (n - p)-конверсия после нейтронного облучения (ниже 40 К - проводимость p-типа), кривая 2; в области конверсии измерения не корректны и

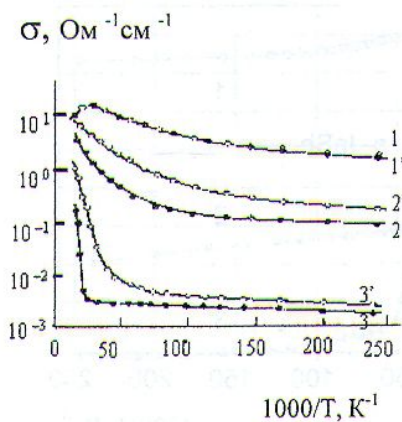


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости  $\sigma$  в n-InSb, облученном быстрыми нейтронами реактора при 77 К (кривые 1-3) и 300К (1'-3'): 1, 1' -  $\Phi = 0$ ; 2 -  $1.8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; 2' -  $\Phi = 2.1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; 3 -  $\Phi = 3.2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; 3' -  $\Phi = 5.4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ .  
Темные значки – облучение при 77 К; светлые – облучение при 300 К.

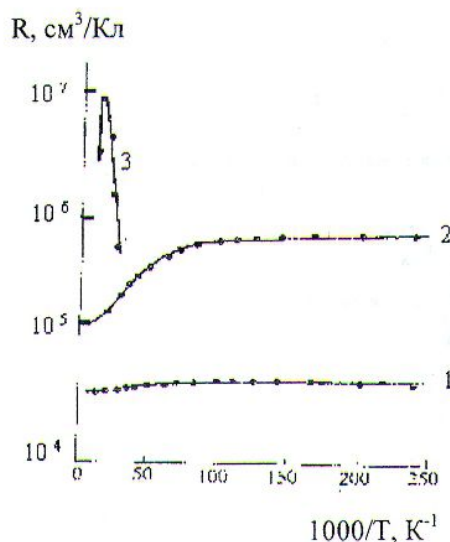


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента Холла  $R$  в n-InSb, облученном быстрыми нейтронами реактора при 77 К: 1 -  $\Phi = 0$ ; 2 -  $\Phi = 1.8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; 3 -  $\Phi = 3.2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ .

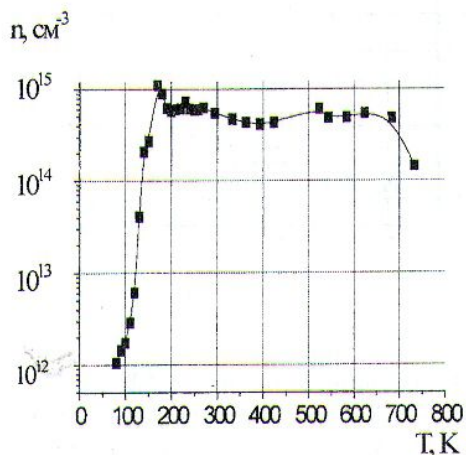


Рис. 3. Изохронный отжиг n-InSb, облученного быстрыми нейтронами реактора при 77 К по концентрации свободных носителей заряда при 77 К.

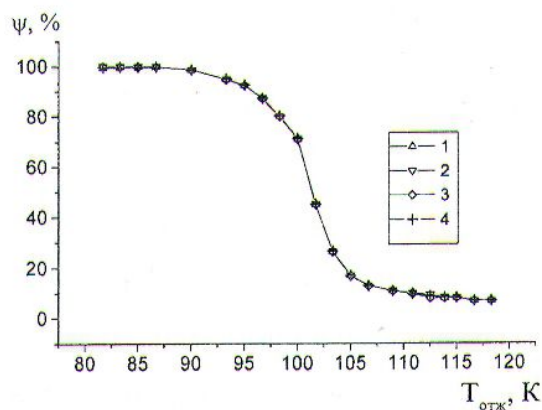


Рис. 4. Изохронный отжиг образцов p-InSb, облученных рентгеновскими лучами при 77 К: p-InSb <Ge>,  $p_0 = 1.6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ; Rhe 50 кэВ; p-InSb <Ge>,  $p_0 = 1.0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ; Rhe 250 кэВ; p-InSb <Fe>,  $p_0 = 1.0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ; Rhe 250 кэВ; p-InSb <Ge>,  $p_0 = 1.0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ; Rhe 55 кэВ.

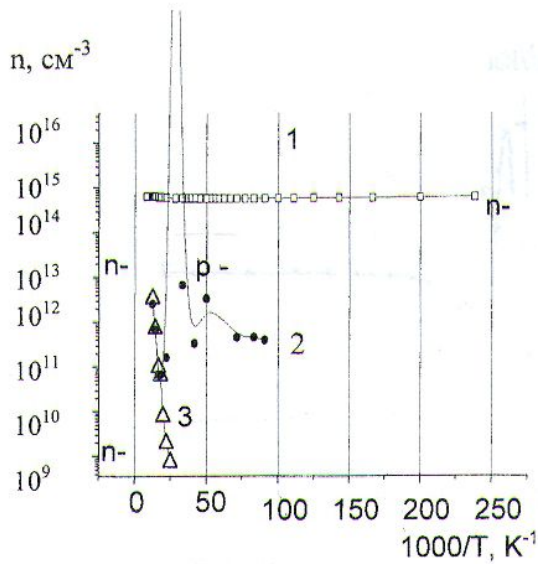


Рис. 5. Температурные зависимости концентрации свободных носителей заряда в n-InSb: 1 - исходный образец до облучения; 2 - после облучения быстрыми нейтронами реактора при 77 К; 3 - после Rhe облучения при 77 К.

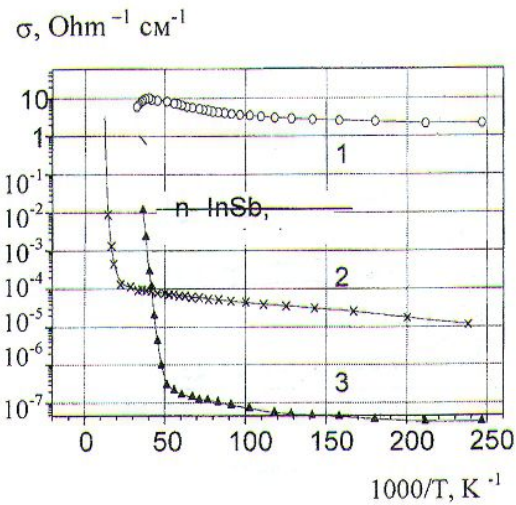


Рис. 6. Температурные зависимости проводимости в n-InSb: 1 - исходный образец до облучения; 2 - после облучения быстрыми нейтронами реактора при 77 К; 3 - после Rhe облучения при 77 К.

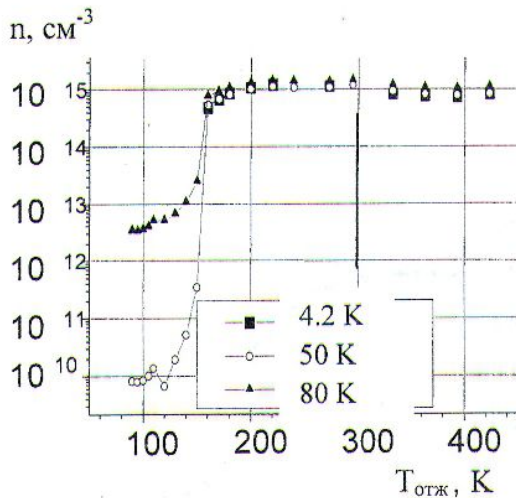


Рис. 7. Изохронный отжиг n-InSb, облученного при 77 К последовательно быстрыми нейтронами реактора и рентгеновскими лучами по концентрации свободных носителей заряда при 4.2, 50 и 80 К.

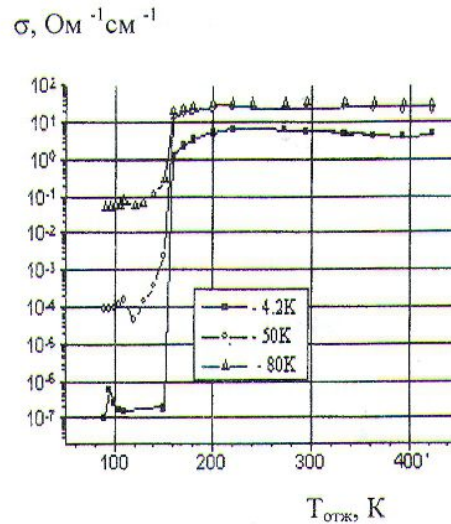


Рис. 8. Изохронный отжиг n-InSb, облученного при 77 К последовательно быстрыми нейтронами реактора и рентгеновскими лучами по проводимости при 4.2, 50 и 80 К.

имеют условный характер. Кривая 3 (см. рис. 5) иллюстрирует температурную зависимость концентрации носителей заряда после облучения Rhe. При высоких температурах материал имеет проводимость n-типа; ниже точки конверсии измерить коэффициент Холла не удалось.

Rhe на фоне нейтронного облучения уменьшает концентрацию носителей заряда (примерно на 3 порядка в районе 40 К) (см. рис. 5, кривая 3) и проводимость – на 2 – 3 порядка в интервале температур 4.2 – 40 К (см. рис. 6, кривые 2, 3).

Отжиг РД в приготовленных таким образом образцах по данным концентрации носителей заряда и проводимости приведен на рис. 7 и 8 соответственно. Сопоставляя рис. 7 и 8 с данными рис. 3 и 4 соответственно, можно заключить: отжиг РД в n-InSb после последовательного облучения быстрыми нейтронами и рентгеном при 77 К проходит в 2 стадии: 1-я - с центром около 105 К и связана с отжигом РД, введенных рентгеновским облучением; 2-я - с центром около 150 К обусловлена отжигом дефектов, введенных нейтронами.

На основе анализа комплекса приведенных данных можно сделать вывод о возможности использования приготовленного по указанной технологии антимолида индия в качестве материала для низкотемпературных дозиметров рентгеновского излучения.

Авторы хорошо понимают, что для практического применения полученных результатов должна быть проделана большая работа, выполнение которой здесь не планировалось, и поэтому сделанный выше вывод расценивают лишь как потенциальную возможность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vikhliy G.A., Karpenko A.Ya., Litovchenko A.P., Litovchenko P.G.* // Ukrainian Journ.of Physics. – 1998. - Vol. 43. – No. 1. - P. 74 - 76.
2. *Колін Н.Г., Меркурисов Д.И., Соловьев С.П.* // ФТП. - 1999. - Т. 33, вып. 8. - С. 927 - 930.
3. *Mashovets T.V., Vikhliy G.A., Vitovskij N.A.* // Phys. Stat. Sol. (a). – 1972. - Vol. 14. - P. 439.

#### ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АНТИМОНІДУ ІНДІЮ, ОПРОМІНЕНОГО НЕЙТРОНАМИ І РЕНТГЕНІВСЬКИМИ ПРОМЕНЯМИ

Г.О. Віхлій, А.Я. Карпенко, П.Г. Литовченко

Наведено попередні результати досліджень гальваномагнітних характеристик монокристалічного n-InSb після послідовного опромінення при 77 К швидкими нейтронами реактора і Rhe 40 кеВ та наступного відпалу. Зроблено висновок про можливість використання антимолиду індію, приготовленого за вказаною технологією, як матеріалу для низькотемпературних дозиметрів рентгеновського випромінювання.

#### ELECTRICAL PROPERTIES OF INDIUM ANTIMONIDE, IRRADIATED BY NEUTRONS AND X-RAYS

G.A. Vikhliy, A.Ya. Karpenko, P.G. Litovchenko

The preliminary results of research of monocrystalline n- InSb galvanomagnetic characteristics are given at a consecutive irradiation by fast reactor neutrons and Rhe 40 keV at temperature 77 K and subsequent annealing. The conclusion is made about an opportunity of use prepared on the specified technology Indium Antimonide as a material for low temperature x-ray dosimeters.