

05;06.2;12

©1994

ПРОФИЛИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В ХАЛЬКОПИРИТЕ CuInSe_2 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ПРОТОНАМИ, ДЕЙТОНАМИ И АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ

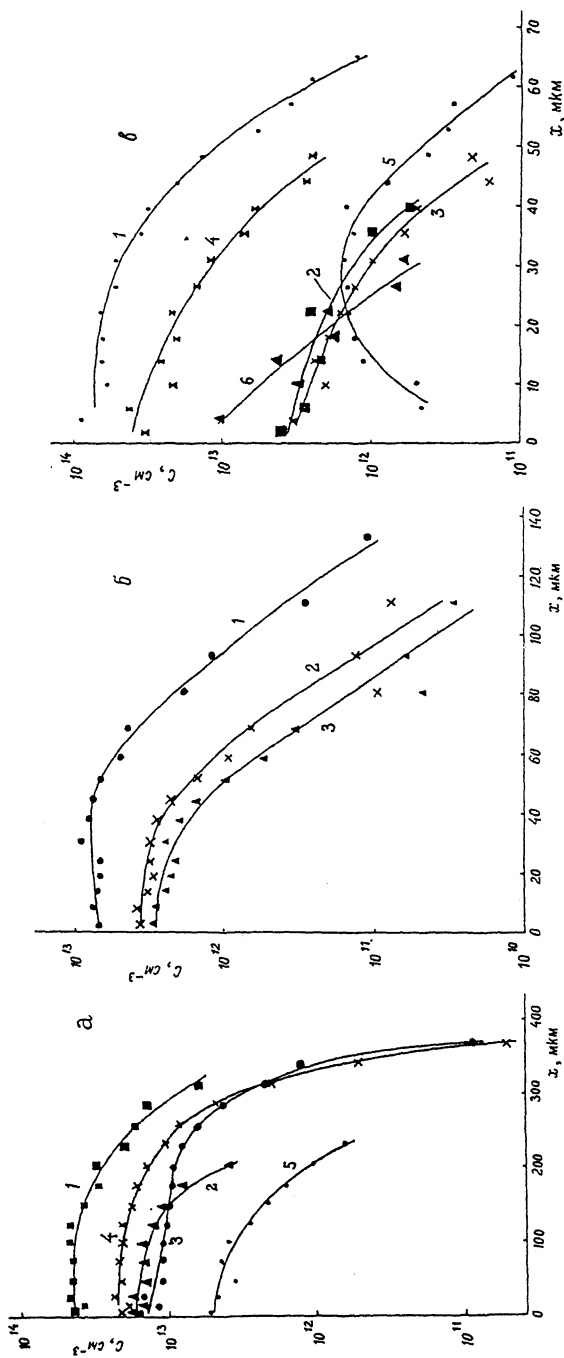
В.А. Дидик, В.В. Козловский, Р.Ш. Малкович, Е.А. Скорятин

1. Полупроводниковые структуры обычно создаются введением примесей в материал посредством диффузии, ионной имплантации, либо при эпитаксиальном выращивании. Д.Каэн и др. [1] обнаружили, что приложение локального электрического поля достаточной величины к однородному монокристаллу халькопирита CuInSe_2 при комнатной температуре также позволяет создавать полупроводниковые структуры. Они предположили, что одним из факторов, обуславливающих этот эффект, может быть электромиграция ионов, в первую очередь меди. Прямое наблюдение миграции ионов может быть осуществлено с помощью радиоактивных изотопов, в частности создаваемых в объеме материала в результате ядерных реакций при облучении высокоэнергетичными заряженными частицами [2].

Облучение заряженными частицами предоставляет возможность формирования в объеме материала локальных примесных областей и последующего использования их в качестве источника диффузии примесей. В настоящей работе исследовано распределение целого ряда радиоактивных изотопов, образующихся в халькопирите CuInSe_2 при облучении высокоэнергетичными протонами, дейтонами и альфа-частицами.

Изотопы образовывались по реакциям [3]: $^{65}\text{Cu}(p, n)^{65}\text{Zn}$, $^{76}\text{Se}(p, n)^{76}\text{Br}$, $^{77}\text{Se}(p, n)^{77}\text{Br}$, $^{82}\text{Se}(p, n)^{82}\text{Br}$, $^{113}\text{In}(p, n)^{113}\text{Sn}$ — при облучении протонами, $^{63}\text{Cu}(d, p)^{64}\text{Cu}$, $^{76}\text{Se}(d, n)^{77}\text{Br}$, $^{77}\text{Se}(d, 2n)^{77}\text{Br}$, $^{82}\text{Se}(d, 2n)^{82}\text{Br}$ — при облучении дейтонами, и $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$, $^{65}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{67}\text{Ga}$, $^{74}\text{Se}(\alpha, p)^{77}\text{Br}$, $^{76}\text{Se}(\alpha, n)^{79}\text{Kr}$, $^{77}\text{Se}(\alpha, 2n)^{79}\text{Kr}$, $^{82}\text{Se}(\alpha, 2n)^{85m}\text{Kr}$, $^{115}\text{In}(\alpha, n)^{118m}\text{Se}$ — при облучении альфа-частицами.

2. Облучение проводилось на малогабаритном циклотроне МГЦ-20. Использовались плоскопараллельные образцы CuInSe_2 с размерами $\sim 4 \times 3 \times 1$ мм. Энергия протонов и дейтонов составляла величину 10 МэВ, а альфа-частиц — 16.8 МэВ. Поток частиц $3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, время облучения



Профили радиоактивных изотопов, образованных в CuInSe_2 в результате облучения протонами (а), дейтонами (б) и альфа-частицами (в).
 а: 1 — ^{65}Zn , 2 — ^{76}Br , 3 — ^{77}Br , 4 — ^{82}Br , 5 — ^{113}Sn , 6: 1 — ^{64}Cu , 2 — ^{77}Br , 3 — ^{82}Br . в: 1 — ^{66}Ga , 2 — ^{67}Ga , 3 — ^{77}Br , 4 — ^{79}Kr , 5 — ^{85m}Kr , 6 — ^{118m}Sb . Время облучения: а — 1 ч, б — 15 мин, в — 4 ч; наклон пучка: а и в — 90°, б — 30°. Концентрация радиоактивных изотопов соответствует моменту окончания облучения.

0.25–4 ч. После облучения с образцов сошлифовывались плоскопараллельные слои, толщиной от 2 до 10 мкм, которые подвергались радиометрическому анализу с использованием калиброванного гамма-спектрометра с Ge(Li) детектором.

3. Как видно из рисунка, концентрация радиоактивных изотопов достигает значений $3 \cdot 10^{12} - 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Глубина профиля составляет величину ~ 60 мкм при облучении альфа-частицами и 200–300 мкм при облучении протонами. Большая глубина профиля при протонном облучении связана с большей глубиной проникновения протонов по сравнению с дейтонами и альфа-частицами. На профиле ^{85m}Kr наблюдается максимум, который обусловлен немонотонным характером энергетической зависимости сечения ядерной реакции, приводящей к образованию этого изотопа [4].

Мы выполнили также опыты по влиянию термообработки на профили изотопов ^{65}Zn , ^{77}Vg и ^{82}Vg , созданных облучением протонами. С этой целью облученные образцы подвергались отжигу при 370°C на воздухе в течение 28 ч. Сравнение профилей в отожженных и контрольных образцах не обнаружило при этом каких-либо различий, выходящих за пределы погрешностей эксперимента.

Авторы выражают искреннюю признательность Л. Червяку за предоставление образцов.

Список литературы

- [1] Cahen D., Gilet J.-M., Schmitz C., Chernyak L., Gartsman K., Jakubowicz A. // *Science*. 1992. V. 258. P. 271.
- [2] Дидик В.А., Козловский В.В., Малкович Р.Ш., Скорятина Е.А., Шустров В.А. // *Письма в ЖТФ*. 1989. Т. 15. В. 12. С. 19.
- [3] Marles C., Goth G.W., Cerny J. // *Nuclear Data*. 1967. V. A2. P. 429.
- [4] Дидик В.А., Козловский В.В., Малкович Р.Ш., Скорятина Е.А. // *ФТП*. 1983. Т. 27. В. 2. С. 343.

Физико-технический
институт им. А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
27 мая 1994 г.