

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА n - $InAs$

К. М. АМАТУНИ, С. А. АЙРАПЕТЯН, С. К. НИКОГОСЯН, В. А. СААКЯН

Исследовано влияние облучения электронами с энергией 7,5 и 50 Мэв на тепло- и электрофизические свойства монокристаллов n - $InAs$. Анализ полученных данных показывает, что при облучении возникают как точечные, так и более сложные дефекты. Однако влияние последних на вышеупомянутые свойства незначительно.

Теплопроводность очень чувствительна к структурным изменениям кристаллической решетки, причем различные типы нарушений по-разному влияют на ее величину и температурную зависимость [1]. Поэтому с целью получения информации о характере радиационных дефектов определенным интерес представляют измерение и сопоставление данных по теплофизическим свойствам полупроводников, особенно n - $InAs$, для которого, насколько нам известно, в литературе отсутствуют данные по упомянутым свойствам при облучении электронами с энергией 7,5 и 50 Мэв. Электроны с указанными энергиями способны образовать в $InAs$ соответственно простые и более сложные дефекты.

В настоящей работе приводятся результаты измерений температурной зависимости теплопроводности χ , термоэдс α и электропроводности σ образцов n - $InAs$ с исходными концентрациями свободных электронов $n^I \simeq 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $n^{II} \simeq 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $n^{III} \simeq 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ до и после облучения быстрыми электронами вблизи азотной и комнатной температур. Первые образцы были сильно компенсированными, последние — вырожденными. Методика измерений и облучения описаны в работах [2, 3].

На рис. 1 приведена температурная зависимость теплопроводности, а на рис. 2 и 3 — температурные зависимости соответственно термоэдс и электропроводности образцов n - $InAs$. Из рисунков видно, что вследствие наличия большой концентрации исходных примесей облучение образцов I и III соответственно дозами $5 \cdot 10^{16} \text{ эл/см}^2$ и $2,3 \cdot 10^{17} \text{ эл/см}^2$ с энергией 7,5 Мэв не приводит к заметному изменению их теплопроводности. Электропроводность же образцов I увеличивается более чем на порядок, что соответствует увеличению концентрации свободных электронов, поскольку облучение создает дефекты, рассеиваясь на которых носители могут только уменьшать свою подвижность, о чем свидетельствует также уменьшение термоэдс в 2 раза (вблизи комнатной температуры, рис. 2). Из сравнения температурного хода электропроводности до и после облучения быстрыми электронами можно заключить, что энергия ионизации радиационных дефектов (доноров) не превышает 0,01 эв.

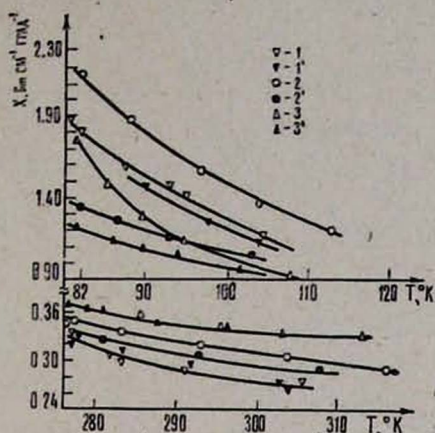


Рис. 1. Температурная зависимость теплопроводности образцов *n-InAs* до и после облучения быстрыми электронами. Образец I: 1 и 1'—соответственно до и после облучения дозой $5 \cdot 10^{16}$ эл/см² с энергией 7,5 Мэв; образец II: 2 и 2'—до и после облучения дозой $8,7 \cdot 10^{16}$ эл/см² с энергией 50 Мэв; образец III: 3 и 3'—до и после облучения дозой $2,3 \cdot 10^{17}$ эл/см² с энергией 7,5 Мэв.

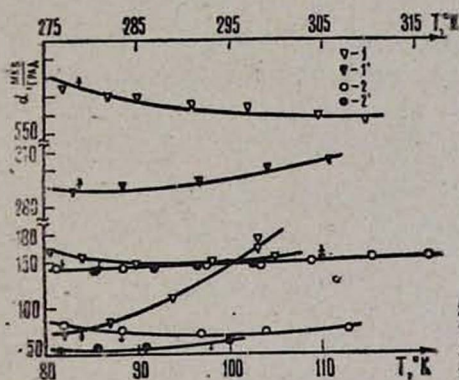


Рис. 2.

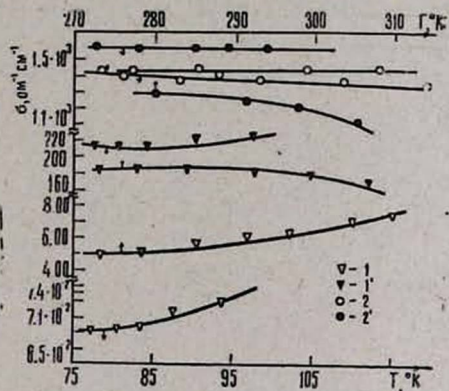


Рис. 3.

Рис. 2. Температурная зависимость термоэлектродвижущей силы образцов *n-InAs* до и после облучения быстрыми электронами (обозначения те же, что и на рис. 1).

Рис. 3. Температурная зависимость электропроводности образцов *n-InAs* до и после облучения быстрыми электронами (обозначения те же, что и на рис. 1).

В работе [4] по аналогии с высокотемпературной термообработкой с последующей быстрой закалкой *InAs* [5] предполагалось, что эффект увеличения концентрации носителей тока обусловлен наличием в образцах неконтролируемых примесей (*Cu*, *S*), локализованных на дислокациях. По мнению автора работы [4] облучение (так же, как и нагрев) освобождает примеси от дислокаций, которые, войдя в решетку, становятся электрически активными (донорами). Отсюда следует, что эти примеси должны иметь большое сечение упругого взаимодействия с налетающими электронами,

что, однако, не подтверждается проведенными нами расчетами согласно формуле Маклея-Фешбаха [6]. По нашему мнению, немаловажную роль здесь играют смещенные атомы матрицы, которые при миграции по кристаллу выбивают примесные атомы из дислокаций, сами занимая их места. Возможно также, что при облучении образуются небольшие металлические включения, приводящие к увеличению концентрации свободных электронов.

Сравнительно большое изменение (уменьшение) теплопроводности получено на образцах II (рис. 1), которые облучались электронами с энергией 50 Мэв (доза облучения $\Phi = 8,7 \cdot 10^{16}$ эл/см²). В них также значительно изменилась подвижность носителей тока, так что при комнатной температуре ее уменьшение преобладает над увеличением концентрации.

Данные по теплопроводности второго типа образцов анализировались с помощью теории Клеменса [7] и теории Амбегаокара [8] соответственно для азотной и комнатной температур. В них учитывался вклад в теплосопротивление кристаллической решетки из-за рассеяния фононов на точечных дефектах (релеевское рассеяние).

Расчет числа френкелевских пар согласно [6] с учетом фактора размножения выбитых атомов дает для обоих типов атомов следующие результаты: $N^{In} \approx 2,2 \cdot 10^{18}$ см⁻³ и $N^{As} \approx 1,1 \cdot 10^{18}$ см⁻³ при пороговых значениях энергии смещения $E_d^{In} \approx 6,7$ эв и $E_d^{As} \approx 8,5$ эв. Используя полученные значения концентраций точечных дефектов, согласно вышеупомянутым теориям [7, 8] для добавочных тепловых сопротивлений получаем

$$W_{расч.}^{(82^\circ K)} \approx 0,22 \text{ вт}^{-1} \text{ см град},$$

$$W_{расч.}^{(300^\circ K)} \approx 0,20 \text{ вт}^{-1} \text{ см град}.$$

По данным рис. 1 для экспериментальных значений этих величин находим

$$W_{экс.}^{(82^\circ K)} \approx 0,29 \text{ вт}^{-1} \text{ см град},$$

$$W_{экс.}^{(300^\circ K)} \approx 0,25 \text{ вт}^{-1} \text{ см град},$$

что довольно хорошо согласуется с расчетными данными.

Однако отсюда нельзя сделать однозначный вывод лишь о точечном характере образовавшихся радиационных дефектов, поскольку электроны с энергией 50 Мэв способны создавать области нарушений в любом материале. В данном случае для их концентрации расчет дает значение $n_{(PO)} \approx 2 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Это достаточно большая величина, и если на эксперименте ее роль незаметна, то можно предположить, что образующиеся в *n-InAs* области разупорядочения имеют малые размеры и, что главное, вокруг них не возникают области пространственного заряда. Последнее обстоятельство особенно важно для соединений $A_{III}B_V$, так как в области пространственного заряда создавались бы большие деформации, которые привели бы к сильному рассеянию фононов и резкому снижению теплопроводности.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При энергиях бомбардирующих электронов до 7,5 Мэв образующиеся дефекты в InAs имеют точечный характер, а увеличение концентрации свободных электронов обусловлено как примесями, так и собственными дефектами.

2. При высоких энергиях электронов (50 Мэв) помимо точечных дефектов образуются также разупорядоченные области, роль которых, однако, незначительна из-за малости их размеров и отсутствия вокруг них области пространственного заряда.

Ереванский физический
институт
Ереванский государственный

Поступила 14.VII.1978

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Оскоцкий, И. А. Смирнов. Дефекты в кристаллах и теплопроводность. Изд. Наука, Л., 1972.
2. Г. Н. Ерицян и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 10, 224 (1975).
3. К. М. Аматун и др. Радиационные дефекты в твердых телах, Наукова думка, Киев, 1977, стр. 125.
4. L. W. Aukerman. J. Appl. Phys., 30, 1239 (1959).
5. J. R. Dixon, D. P. Enright. J. Appl. Phys., 30, 753 (1959).
6. J. H. Cahn. J. Appl. Phys., 30, 1311 (1959).
7. P. G. Klemens. Proc. Roy. Soc., A208, 108 (1951).
8. V. Ambegaokar. Phys. Rev., 114, 488 (1959).

ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ n -InAs-ի
ԶԵՐՄԱ-ԵՎ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՋԻՎԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ք. Մ. ԱՄԱՏՈՒՆԻ, Ս. Ա. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ս. Կ. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ,
Վ. Հ. ՍԱՀԱԿՅԱՆ

Հետազոտված է 7,5 և 50 ՄեՎ էներգիա ունեցող էլեկտրոններով ճառագայթման ազդեցությունը n -InAs միաբյուրեղների շերտ- և էլեկտրաֆիզիկական հատկությունների վրա: Ստացված արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ուժեղ ճառագայթային դեֆեկտներ, սակայն վերջիններիս ազդեցությունը վերահիշյալ հատկությունների վրա աննշան է:

THE EFFECT OF ELECTRON IRRADIATION ON THERMAL AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF n -InAs

K. M. AMATUNI, S. A. AJRAPETYAN, S. K. NIKOGOSYAN,
V. A. SAAKYAN

The effect of 7.5 and 50 MeV electron irradiation on the thermal and electrophysical properties of n -InAs single crystals was investigated. The analysis of obtained data shows, that at the irradiation both the point and more complicated defects arise. However the effect of the latters on the properties of n -InAs is small.