

УДК 621.315.592

С.С. Варшава , Г.М. Бортнік
 ДУ “Львівська політехніка”, кафедра напівпровідникової електроніки

РОЗМІРНІ ЕФЕКТИ В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЯХ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ

© С.С. Варшава, Г.М. Бортнік, 2000

Досліджено геометричні розмірні ефекти в ниткоподібних кристалах (НК) Si p-типу. Виявлено вплив конусності на значення термо-ЕРС. Розраховано розподіл компонент теплового потоку при розташуванні НК на підкладці. Описано методики вимірювань.

Dimensional effects in Si p-type whiskers have been investigated. An influence of conical shape on thermoelectric power value has been observed. A calculation of distribution of thermal flux components at attachment of the whisker on substrate has been carried out. Measurement techniques were described.

Термоелектричні властивості ниткоподібних кристалів досліджено недостатньо [1], хоча й відомі пристрої, які працюють на цих ефектах [2]. Коефіцієнт термо-ЕРС α ефекту Зеебека НК Si, Ge, Si-Ge досягає 1 мВ/К і може мати різний характер температурної залежності [3].

Досліджено вплив розмірних ефектів на термоелектричні властивості кристалів. У залежностях $\alpha=f(d)$ для НК Si p-типу проявляється як залежність $\alpha=f(\rho)$, так і залежність $\rho=f(d)$.

Експерименти із дослідження впливу геометрії на величину термо-ЕРС ΔU при $\Delta T = \text{const} = 80^\circ\text{C}$ показали, що в межах однієї партії ця залежність практично лінійна (партія 2088), а для різних партій спостерігається як ділянка постійного ΔU , так і невеликого спаду в товстіших кристалах.

Розглянуто вплив конусності НК на термоелектричні властивості. Тут ми очікували проявів і неоднорідності НК (тонкий кінець мав би мати більше α), і різного теплового опору теплового потоку залежно від геометрії НК (протилежного характеру). У таблиці наведено результати дослідження впливу конусності НК на відносну зміну термо-ЕРС при нагріві різних кінців НК (в межах 20...100°C).

Відносна зміна термо-ЕРС($\Delta T=80^\circ\text{C}$) при різній конусності НК

Партія	Матеріал	ρ , Ом·см	Тип провідн.	Δl , мкм	Δd , мкм	$k=\Delta d/2\Delta l$	$\Delta U/U_c \times 100\%$
2083	Si	0,0081	p	12200	45,08	$1,85 \cdot 10^{-3}$	4,6
Н-1	Si	0,03	p	14500	40,28	$1,39 \cdot 10^{-3}$	11,3
Н-2	Si	0,06	p	13400	40,28	$1,5 \cdot 10^{-3}$	-14,1
Н-5	Si	0,03	p	6500	22,57	$1,74 \cdot 10^{-3}$	9,6
104	Si	0,0016	p	5600	162,3	$1,45 \cdot 10^{-2}$	5,12
2088	Si	0,0015	p	4850	29	$2,98 \cdot 10^{-3}$	4,64

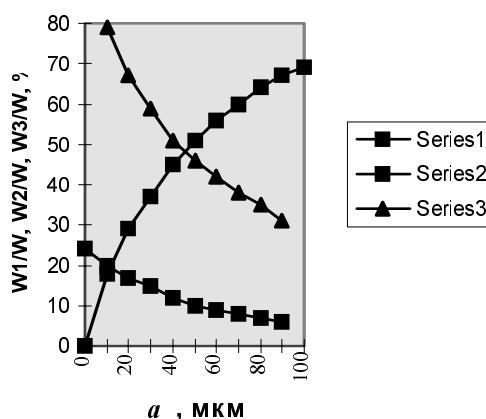
Переважно, під час нагріву грубшого кінця вплив конусності (знак параметра $\Delta U/U_c$ додатний) був істотніший. Встановити залежність термо-ЕРС (ΔU) від величини конусності K для різних партій не вдалося – залежності мали ділянки екстремумів і вирішальним фактором виявилися технологічні умови вирощування НК.

Для подальшого аналізу впливу розмірних ефектів проводилися теоретичні розрахунки компонентів теплового потоку W [4]: W_1 – потік через НК; W_2 – потік в підкладку; W_3 – конвективний потік у повітря:

$$W = \frac{\chi_1 d_1 + \chi_2 d_2}{l} b_1 \Delta T + \alpha_T b_2 l (T_{ef} - T_o) \quad (1)$$

де χ_1 – коефіцієнт теплопровідності Si ($= 84$ Вт/мК) [5]; χ_2 – коефіцієнт теплопровідності фторопласту ($0,233$ Вт/мК) [6]; α_T – коефіцієнт конвективної теплопередачі (100 Вт/м²К) [7]; T_o – температура навколишнього середовища (20 °С); T_{ef} – ефективна температура поверхні НК (60 °С); d_1 – ефективний діаметр кристалів (\sqrt{S}); b_1 – ефективна ширина НК ($\approx 2,6a$, де a – ширина грані НК; $b_2 = 5a$; l – довжина НК $l=1$ см (10^{-2} м); d_2 – товщина підкладки $= 2$ мм ($2 \cdot 10^{-3}$ м).

Нехтуємо четвертою компонентою, пов'язаною з тепловим випромінюванням згідно із законом Стефана-Больцмана. Її середнє значення становило $\sim 3 \cdot 10^{-9}$ Вт. Задавали ширину грані a в межах 10 - 100 мкм. Результати розрахунку зображено на рисунку.



Залежності компонент теплового потоку від ширини грані НК Si:

1 – W_1/W – частина теплового потоку, зумовлена теплопровідністю НК; 2 – W_2/W (дані $\times 5$) – частина теплового потоку, зумовлена теплопровідністю в підкладку; 3 – W_3/W – частина теплового потоку, зумовлена конвективною складовою потоку

Як бачимо, частина теплового потоку W_2/W , зумовлена теплопровідністю в підкладку, від товщини НК практично не залежить, а інші компоненти змінюються так: частина теплового потоку, зумовлена теплопровідністю НК W_1/W із збільшенням розміру НК зростає майже лінійно при $a < 50$ мкм, а при більших значеннях a – сублінійно. Конвективна частина теплового потоку W_3/W із збільшенням розмірів НК експоненційно падає.

Отже, збільшення термо-ЕРС $\Delta U/U_c$ за рахунок конусності відповідає зростанню теплового потоку W_1 через НК. Так, при збільшенні a в межах 10 - 100 мкм W_1 зростає, згідно з розрахунками, в ~ 100 разів. Зменшення $\Delta U/U_c$ в деяких випадках, очевидно,

пов'язане із збільшенням α тоншої частини НК, тобто із неоднорідністю НК, що відповідає залежності $\rho = f(a)$.

Проводили дослідження термоелектричних параметрів НК Si, Ge, а також інших кристалів з метою підбору пар для двовіткових елементів Зеебека.

Дослідження показали, що для низькотемпературних (77-300 К) двовіткових термоелементів Зеебека можна рекомендувати такі пари НК: Te+Bi₂S₃. Для "додатних" температур можна рекомендувати пари Si<Se>+pSi ; nGe<Au>+pGe. Інші партії НК (Н-2) теж можна використовувати для створення багатовіткових термоелементів.

Зупинимось на методиці досліджень. Частина експериментів виконувалась за методикою 2-температурного нагріву [8]. Застосовували також експресний метод визначення термо-ЕРС, який полягає в такому. На фторопластовій підкладці закріплюють НК за допомогою липучих стрічок так, що один кінець НК розташований в ямці з водою на підкладці. До НК під'єднані Au-контакти. За допомогою нагрівника воду в отворі нагрівають до 100°C, створюючи різницю температур між кінцями НК і за допомогою вольтметра визначають термо-ЕРС, тобто різницю потенціалів, яка виникає на кінцях НК. Цей метод був апробований в ряді досліджень, зокрема при дослідженні впливу конусності на термоелектричні параметри, при підборі віток термоелементів тощо.

Окрім того, був запропонований 3-точковий метод визначення термо-ЕРС., суть якого полягає в тому, що частина НК (точки 1-2) розігрівається постійним струмом, а вольтметром знімаються покази між точками 2-3 U₂₃. У такому разі маємо змогу визначити як величину термо-ЕРС Δe , так і контактний потенціал U_k [9].

1. Локоть Г.П., Кузів А.С., Логуш О.И. Исследование некоторых термоэлектрических свойств легированных НК кремния, полученных из газовой фазы// Сб. Нитевидные кристаллы и тонкие пленки, Ч.1. Воронеж. 1975. С.338-341. 2. Куритник И.П. Расторгуев Б.П., Стадник Б.И. и др. Устройство для измерения температуры питательного аствора / А.с. СССР №498516, Бюл. изобрет. 1976. №1. 3. Куритник И.П., Гамула П.Р., Скоропад Ф.И., Садовский А.Е. Термоэлектрический эффекты: методы и средства исследований// Измерения. Контроль. Автоматзация. 1991. №1. С.10-12. 4. Гольцман Б. М., Дашевський З.М., Кайданов В.И., Коломоец Н.В. Пленочные термоэлементы: физика и применение. М., 1985. 5. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Справочник. К., 1975. 6. Кошкин Н.И, Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М. 1982. 7. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. Пер. с англ. под ред. А.А. Анфимова. М. 1983. 8. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник. К. 1979. 9. Варшава С.С., Потапчук Г.М., Дослідження термоелектричних та теплообмінних ефектів в ниткоподібних кристалах телуру //Тезиси докл. I міжд. науч.-тех. конф. «Материаловедение алмазоподобных и халькогенидных полупроводников» Ч.II Черновцы. 1994. С.62.