

Полупроводниковые Свойства в Размерноограниченных Объектах $\text{Bi}_{0,88}\text{Sb}_{0,12}$.

Popov I. A.

D. Ghitu Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies, Academy of Sciences of Moldova.
Chisinau, Moldova.
ros_tov@mail.ru

Abstract—In this work was studied the charge carrier concentration of film single crystals. The measurements were made at temperature $T=4.2 - 300$ K. The thickness of the samples ranged from 0.2 mkm to 1.3 mkm. It was found that $n \sim AT^{2.3}$. It allows to conclude that film single crystals $\text{Bi}_{0,88}\text{Sb}_{0,12}$ possess semiconducting properties.

Ключевые слова—Концентрация носителей, плёнки, запрещённая зона, температура, толщина.

Для размерно-ограниченных объектов сплавов $\text{Bi}_{0,88}\text{Sb}_{0,12}$, где по крайней мере один линейный размер не превосходит 0,7 мкм, реализация полупроводникового состояния зависит от внутреннего структурного совершенства (смотри например [1,2,3]). А к важнейшим параметрам, которые характеризуют основные электрофизические свойства материалов, относятся концентрация и подвижность носителей заряда.

Для нескольких образцов $\text{Bi}_{0,88}\text{Sb}_{0,12}$ различной толщины была рассчитана концентрация носителей заряда (n). С этой целью были измерены эффект Холла и магнитосопротивление в слабом магнитном поле. Расчет проводился в рамках двузонной модели [4] скомпенсированного полуметалла при использовании формул:

$$\begin{cases} \frac{1}{\rho} = en(\mu_e + \mu_h) \\ R_x = \frac{1}{en} \frac{\mu_h - \mu_e}{\mu_h + \mu_e} \\ \frac{\Delta\rho}{\rho H^2} = \mu_e \mu_h \end{cases}$$

где μ_h и μ_e - подвижность электронов и дырок, ρ - магнетосопротивление, H - напряжённость магнитного поля, e - заряд электрона, n - концентрация носителей заряда.

Все представленные образцы имели одинаковую ориентацию – ось C_3 перпендикулярна плоскости подложки. Это совпадает с ориентацией полученных в данной работе мозаичных плёнок, так же литературным данным (см. например [1,5,6]).

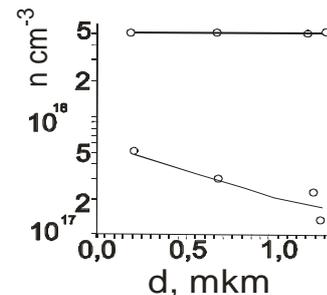


Рис. 1. Зависимость концентрации носителей заряда от толщины образца при 300 К верхняя кривая и 77 К нижняя кривая.

Расчёты проводились для комнатной температуры, температуры жидкого азота и жидкого гелия. Значение концентрации носителей при 4,2 К для образца пленочного монокристалла $\text{Bi}_{0,88}\text{Sb}_{0,12}$ $d=1\text{мкм}$ составило $5,96 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, что более чем в 1,5 раза ниже, чем в мозаичных плёнках этого же состава и ориентации. Для 77 и 300 К результаты представлены на рис. 1. При температуре 77 К концентрация носителей заряда возрастает с уменьшением толщины как следствие усиливающегося влияния приповерхностного потенциала. Для комнатной температуры данный эффект сглаживается, и концентрация остаётся практически постоянной во всём интервале исследованных толщин. Это связано с общим ростом концентрации носителей заряда при увеличении температуры, а так же с уменьшением роли пространственного квантования при высоких температурах. Следует заметить, что концентрация носителей заряда в мозаичных плёнках соответствующих составов при температуре жидкого азота как и при температуре жидкого гелия примерно в два раза выше, чем в пленочных монокристаллах. В тоже время при комнатной температуре это различие не столь велико и составляет примерно 1,2 раза [1]. Такое положение вещей возможно вследствие общего роста концентрации носителей заряда, которое в свою очередь маскирует влияние приповерхностного потенциала.

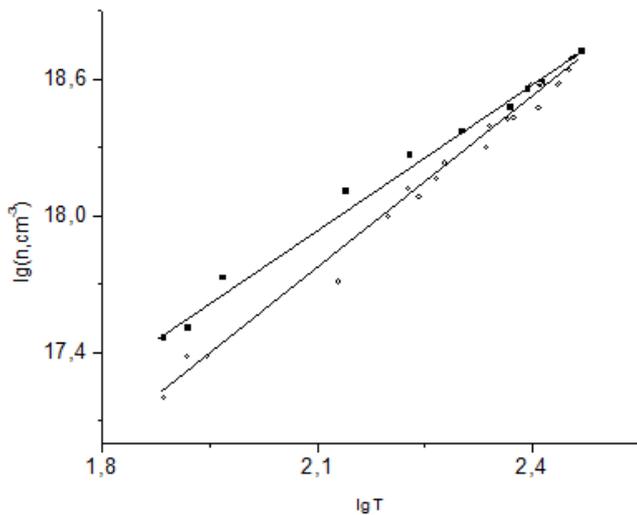


Рис. 2. Температурная зависимость концентрации носителей заряда плёночных монокристаллов $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$
1- $d=0.7\mu\text{м}$, 2- $d=1,2\mu\text{м}$.

На рис. 2 приведены температурные зависимости концентрации носителей заряда в плёночных монокристаллах $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$. Исследуемые образцы имели толщины 0,7 мкм и 1,2 мкм. Полученное изменение концентрации носителей с температурой, в билогарифмических координатах, имеет линейный характер и может быть описано соотношением:

$$n = AT^\alpha$$

где A некоторая константа. Для монокристаллических образцов чистого висмута и мозаичных плёнок $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$, полученных методом термического испарения с последующим отжигом, концентрация меняется по закону близкому к $n \sim T^{3/2}$ [1,7]. У плёночных монокристаллов $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$ коэффициент α принимает значения 2,3 и 2,1 для образцов толщиной 1,2 мкм и 0,7 мкм соответственно. Таким образом, закономерность роста концентрации

носителей с температурой заметно отличается от зависимости $T^{3/2}$ характерной для монокристаллических образцов чистого висмута или мозаичных плёнок этого же состава.

В случае равенства концентрации электронов и дырок в образце ($n \approx p$) связь концентрации носителей с температурой выражается:

$$n = p = \frac{2(2\pi\sqrt{m_n m_p} kT)^{3/2}}{h^3} e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$$

Очевидно, что если энергетическая щель между зонами отсутствует или близка к нулю то $n \sim T^{3/2}$, что реализуется в монокристаллах чистого висмута и мозаичных плёнках $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$. Отличия в зависимости $n = f(T)$, характерные для плёночных монокристаллов $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$, где $\alpha \approx 2,2$, могут быть объяснены влиянием экспоненты. Иными словами в выражении $e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$ величина ΔE должна быть отличной от нуля. В свою очередь это свидетельствует о наличии в образцах плёночных монокристаллов данного состава полупроводниковых свойств.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Никитин Ю. В., Бухштаб Е. Н. Комник Ю. Ф. // Ф.Н.Т. 1978. 4. с. 1440-1452.
- [2]. Долма В. А., Мунтяну Ф. М. // Ф.Т.П. т. 16, в. 10, с. 1911-1913.
- [3]. И. А. Попов, А. М. Попов // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Republicii Moldova.
- [4]. Е. Н. Бухштаб. Ю. Ф. Комник, Ю. В. Никитин. // Ф.Н.Т., 1977, 3, с. 755-761.
- [5]. В. В. Андриевский, А. В. Бутенко, Ю. Ф. Комник, Ю. В. Никитин. // Ф.Н.Т., т. 8, 1982 г., с. 838-845.
- [6]. Никитин Ю. В., Бухштаб Е. Н. Комник Ю. Ф. // Ф.Н.Т. 1978. 4. с. 1257-1265.
- [7]. Иванов Г. А. К // ФТТ, 6, вып. 3, с. 938-940.