

Электропроводность пленок n -InSb в сильных электрических полях

© Ю.А. Никольский¹, С.Е. Зюзин

Борисоглебский государственный педагогический институт,
397160 Борисоглебск, Россия

(Получена 10 июля 2000 г. Принята к печати 2 августа 2000 г.)

Рассмотрено влияние сильного электрического поля на электропроводность пленок n -InSb, выращенных на подложках из окисленного кремния. Установлено, что рост электропроводности происходит за счет увеличения концентрации носителей заряда. Произведена оценка энергии активации носителей заряда из данных измерений.

Электропроводность пленок n -InSb в сильных электрических полях мало изучена. Известна работа [1], в которой авторы основное внимание уделяли рассеянию носителей заряда на межкристаллитных барьерах. На основе перекристаллизованных пленок n -InSb, выращенных на слюдяных подложках, создан датчик электрического поля [2]. Нами были впервые проведены оценки энергии активации носителей заряда из измерений электропроводности в сильных электрических полях для таких структур.

В данной работе пленки n -InSb были выращены методом дискретного испарения на подложках из окисленного кремния с последующей термической перекристаллизацией. Перекристаллизованные слои представляют собой монокристаллическую матрицу с низкоомными включениями двухфазной системы InSb + In p -типа проводимости [3]. Толщина исследуемых слоев 0.5–1.0 мкм, концентрация носителей заряда $(2-9) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре, подвижность $(2-4) \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ (300 К). Температура подложки в процессе напыления $T \approx 300^\circ\text{C}$, что приводит к образованию компенсированных слоев со степенью компенсации 0.7–0.8 для поликристаллических образцов и 0.5–0.6 для перекристаллизованных.

На рис. 1, 2 приведены вольт-амперные характеристики (ВАХ) для поликристаллических и перекристаллизованных образцов в области собственной проводимости InSb. Отметим, что в этом интервале температур величина напряжения, при которой перестает выполняться закон Ома, уменьшается с ростом температуры (рис. 3). Такую зависимость можно объяснить предельным уровнем заполнения ловушек, так как наши структуры являются компенсированными (степень компенсации приведена выше). Подобные соображения высказывались в работе [4].

Из ВАХ, измеренных при различных температурах, можно определить глубину залегания моноэнергетических уровней E_t , которая связана с напряжением перехода V_0 от омического участка к "ловушечному"

формулой [5]

$$V_0^{-1} \propto \exp\left(\frac{(E_t - E_c)}{kT}\right),$$

где E_c — энергия дна зоны проводимости. Энергия активации, определенная из температурной зависимости V_0 (рис. 3), равна 0.11 эВ для перекристаллизованных слоев и 0.12 эВ для поликристаллических.

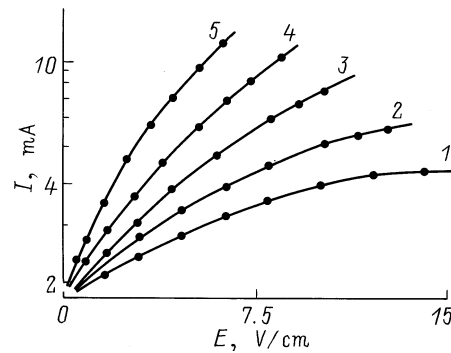


Рис. 1. Типичные вольт-амперные характеристики поликристаллической пленки n -InSb, выращенной на подложке из окисленного кремния при температуре T , К: 1 — 290, 2 — 300, 3 — 330, 4 — 350, 5 — 370.

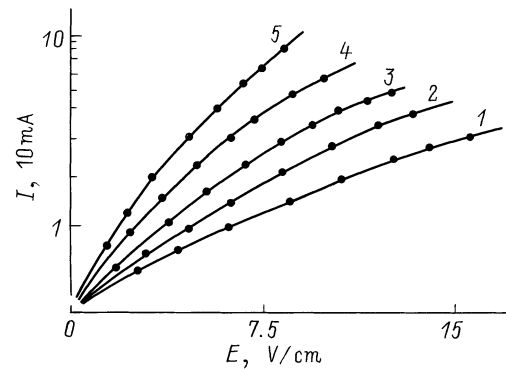


Рис. 2. Типичные вольт-амперные характеристики перекристаллизованной пленки n -InSb, выращенной на подложке из окисленного кремния методом термической перекристаллизации при температуре T , К: 1 — 290, 2 — 300, 3 — 330, 4 — 350, 5 — 370.

¹ E-mail: bgpi@minas.rosmail.com

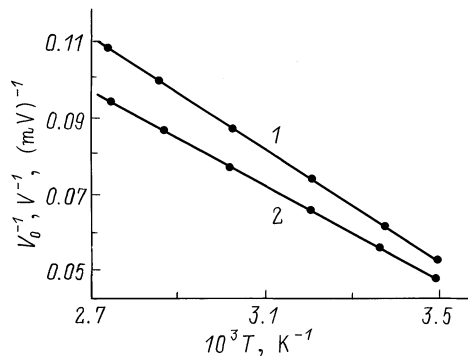


Рис. 3. Температурные зависимости напряжения перехода от омического к ловушечному участку вольт-амперных характеристик для пленок InSb: 1 — поликристаллических, 2 — перекристаллизованных.

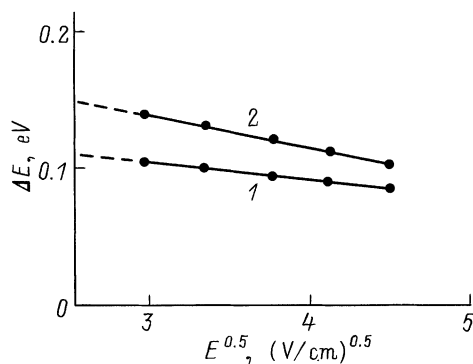


Рис. 4. Энергия активации проводимости ΔE поликристаллических (1) и перекристаллизованных (2) пленок *n*-InSb, выращенных на подложках из окисленного кремния в зависимости от напряженности электрического поля.

Известно, что в большинстве полупроводников наблюдается выполнение закона Френкеля:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \beta \sqrt{E},$$

где

$$\sigma_0 = A \exp \left(\frac{-\Delta E_0}{2kT} \right)$$

— проводимость в слабых полях, β — коэффициент Френкеля, E — напряженность электрического поля, ΔE_0 — энергия активации проводимости. В наших образцах рост электропроводности с ростом электрического поля начинается при $E \approx 10-15$ В/см при $T = 300$ К.

Подставив в формулу Френкеля выражение для σ_0 , получим [4]

$$\begin{aligned} \sigma &= A \exp \left(\frac{-\Delta E_0}{2kT} \right) \exp \beta \sqrt{E} \\ &= A \exp \left[-\frac{1}{kT} \left(\Delta E_0 - 2e \sqrt{\frac{eE}{\epsilon_0}} \right) \right]. \end{aligned}$$

Если обозначить

$$\Delta E(E) = \Delta E_0 - 2e \sqrt{\frac{eE}{\epsilon_0}},$$

то

$$\sigma = A \exp(-\Delta E/2kT),$$

где $\Delta E(E)$ — зависимость энергии активации ΔE от электрического поля E .

Зависимость энергии активации ΔE от \sqrt{E} показана на рис. 4. Из рисунка видно, что величина ΔE линейно уменьшается с ростом \sqrt{E} . Экстраполяцией прямой $\Delta E = f(\sqrt{E})$ к оси $\sqrt{E} \rightarrow 0$ определена энергия активации ΔE_0 в слабом электрическом поле. Для поликристаллических образцов она составляет ~ 0.12 В, для перекристаллизованных ~ 0.14 эВ.

Таким образом, наши данные подтверждают, что в сильных электрических полях электропроводность растет в соответствии с законом Френкеля. Следовательно, можно утверждать, что электропроводность возрастает за счет роста концентрации носителей заряда с увеличением электрического поля. Полученные значения энергии активации коррелируют с данными из холловских измерений.

Список литературы

- [1] С.Н. Ling, J.H. Fisher, I.C. Anderson. *Thin Sol. Films*, **14**, 267 (1972).
- [2] С.Е. Зюзин, Ю.А. Никольский. Патент № 2148791.
- [3] В.А. Касьян, П.И. Кетруш, Ю.А. Никольский, Ф.И. Пасечник. В сб.: *Тонкие пленки антимонида индия* (Кишинев, Штиинца, 1992) с. 162.
- [4] О.Б. Тагиев, Т.Ш. Гашимова, И.М. Аскеров. *ФТП*, **32** (6), 701 (1998).
- [5] Н.С. Грушко, Л.А. Герасименко, Т.И. Гоглидзе. В сб.: *Физика полупроводников и диэлектриков* (Кишинев, Штиинца, 1992) с. 83.

Редактор Т.А. Полянская

The *n*-InSb film electroconductivity in high electric fields

Yu.A. Nikol'sky, S.E. Zyuzin

Borisoglebsk State Pedagogical Institute,
397160 Borisoglebsk, Russia

Abstract The electroconductivity dependence on the electric field in InSb thin films, which are being grown onto the oxidized silicon substrates, has been considered. It is established that electroconductivity increases with the charge carrier density. The activation energy of charge carriers was estimated from the measurements.