

О механизме токопрохождения в пленках n -InSb

© Ю.А. Никольский

Борисоглебский государственный педагогический институт,
397160 Борисоглебск, Россия

(Получена 22 января 2001 г. Принята к печати 3 апреля 2001 г.)

Исследована структура дна зоны проводимости в поликристаллических и перекристаллизованных пленках n -InSb, выращенных на подложках из диоксида кремния, по зависимости электропроводности от температуры в области собственной проводимости. В неоднородных полупроводниках в области собственной проводимости линейная зависимость $\ln\sigma = f(10^3/T)$ может наблюдаться с разными углами наклона. Из средних значений $\Delta E_1, \Delta E_2, \dots, \Delta E_n$ определена величина уровня протекания, которая составляет в среднем 0.165 эВ для поликристаллических пленок и 0.2 эВ для перекристаллизованных.

В последние годы значительное внимание исследователей в области физики полупроводников привлекают неоднородные структуры, в которых представляются аномальными механизмы токопрохождения, оптические, фотоэлектрические и другие явления. Большой интерес к неоднородным средам вызван тем, что возникающие аномальные эффекты в ряде случаев приводят к появлению принципиально новых физических явлений в полупроводниках и в многослойных полупроводниковых и других структурах. Задача состоит в том, чтобы научиться управлять их аномальными свойствами для создания новых полупроводниковых приборов.

Многие исследователи разрабатывают модели, позволяющие описать эти явления в неоднородных структурах.

Основы теории перколяционной проводимости в неоднородных средах приведены в работе [1]. В [2] решены конкретные задачи для неоднородных сред с высокоомными и низкоомными включениями. Имеется ряд исследований [3], [4], удовлетворительно описывающих аномальное поведение эффекта Холла, фотопроводимости в неоднородных пленках антимонида индия n -типа проводимости.

Нами предпринята попытка создания модели механизма токопрохождения в поликристаллических и перекристаллизованных пленках n -InSb, выращенных на подложках из диоксида кремния, с использованием экспериментальных данных и результатов теоретических работ [5,6].

Поликристаллические пленки антимонида индия n -типа проводимости получались методом дискретного испарения кристаллического порошка n -InSb с концентрацией носителей заряда $n \leq 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре на подложки из диоксида кремния при температурах 300, 350 и 400°C.

Перекристаллизованные пленки антимонида индия n -типа проводимости получались термической обработкой поликристаллической пленки.

Результаты исследования структуры поликристаллических и перекристаллизованных пленок n -InSb приведены в [7]. Толщина поликристаллических и перекристаллизованных пленок составляет 1.0–2.0 мкм. Концентрация носителей заряда определялась из холловских измерений

и находилась в пределах $5 \cdot 10^{16} - 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре.

Первостепенной задачей исследования было выяснение структуры зоны проводимости в данных пленках. Если в полупроводнике n -типа имеются также акцепторы, то при точной компенсации, когда N_D и N_A достаточно близки, электронный газ не является идеальным. Электроны находятся в поле со случайным потенциалом, созданным донорами и акцепторами. Случайный потенциал можно рассматривать как искривление дна зоны проводимости ε_c . При очень точной компенсации характерная амплитуда случайного потенциала становится больше, чем ε_F , определяемая формулой

$$\varepsilon_F = (3\pi^2)^{2/3} \hbar^2 n^{2/3} / 2m.$$

При этом электроны находятся лишь в самых глубоких местах потенциального рельефа, образуя изолированные друг от друга "капли" (рис. 1). Электропроводность осуществляется путем теплового заброса электронов на так называемый уровень протекания ε_p .

В n -InSb при температурах $\gtrsim 300 \text{ К}$ для образцов с концентрацией носителей заряда $\sim 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ наступает область собственной проводимости. Нами предложено исследовать структуру дна зоны проводимости, изучая зависимость электропроводности от температуры в области собственной проводимости. Для определения

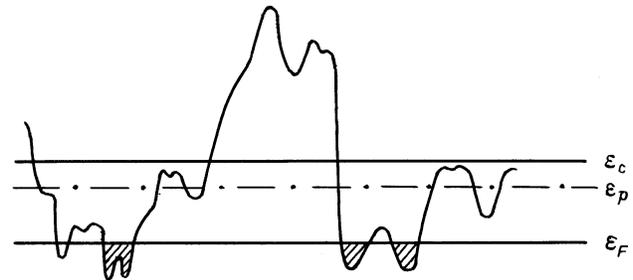


Рис. 1. Энергетическая схема компенсированного полупроводника. Извилистая линия изображает локальные искривления дна зоны проводимости, ε_c — энергия дна зоны проводимости в отсутствие примесного потенциала, ε_F — уровень Ферми, ε_p — уровень протекания. Заштрихованы области, занятые электронами (электронные "капли").

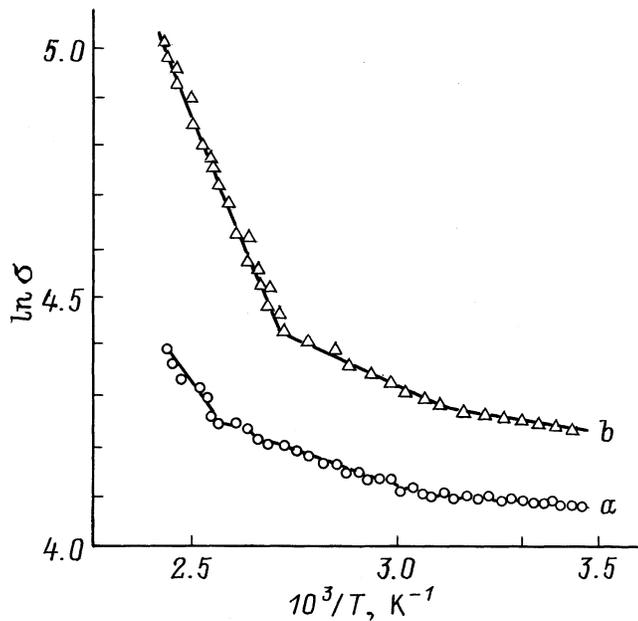


Рис. 2. Типичная температурная зависимость электропроводности σ поликристаллической (а) и перекристаллизованной (b) пленок n -InSb ($t_n = 300^\circ\text{C}$). Размерность σ — $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

точного значения энергии активации из измерений электропроводности необходимо знать зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Поскольку главным механизмом, определяющим подвижность в n -InSb при $T > 200\text{ K}$, является рассеяние на поляризационных колебаниях, можно считать, что в области этих температур $\mu \propto T^{-\alpha}$, где $\alpha = +3/2$. Тогда ΔE , которая определяется из графика $\ln(\sigma T^{(\alpha-3/2)}) = f(10^3/T)$, можно найти просто из зависимости $\ln \sigma = f(10^3/T)$. В неоднородных полупроводниках вследствие взаимодействия носителей тока с неоднородностями волновая функция электронов значительно искажается, и это обстоятельство приводит к существенному изменению параболической формы дна зоны проводимости. Поэтому на графике $\ln \sigma = f(10^3/T)$ в области собственной проводимости линейная зависимость может не наблюдаться. Отклонение от линейности в области собственной проводимости может происходить при высоких температурах при наличии вырождения. Однако, поскольку в наших измерениях $T < 400\text{ K}$ и максимальное $kT \approx 0.035\text{ эВ}$, вырождение не достигается.

Многочисленные измерения для поликристаллических и перекристаллизованных пленок в области собственной проводимости дают ряд линейных участков, по которым можно оценить значения энергии активации, соответствующие энергии перехода носителей заряда из валентной зоны в зону проводимости (рис. 2, а, b). Определив эти величины $\Delta E_1, \Delta E_2, \dots, \Delta E_n$ ($\Delta E = 2kT_1 T_2 \ln(\sigma_2/\sigma_1)/(T_2 - T_1)$) и найдя среднее арифметическое этих значений, можно, таким образом, оценить среднее значение энергии активации. Это значе-

ние носит название уровня протекания. Так, для поликристаллических образцов, полученных при температурах подложки $300, 350, 400^\circ\text{C}$, уровень протекания составляет $0.053, 0.165, 0.275\text{ эВ}$, а для перекристаллизованной пленки он равен 0.2 эВ .

Изучение структуры дна зоны проводимости поликристаллических пленок n -InSb свидетельствует о том, что с увеличением температуры подложки, т.е. с улучшением равновесных условий получения пленок, образцы приближаются к стехиометрическому составу и, таким образом, к меньшей концентрации носителей заряда. Поэтому на образцах с более высокой температурой подложки собственная проводимость начинается при более низких температурах и, следовательно, уровень протекания приближается к ширине запрещенной зоны.

Для перекристаллизованных пленок на подложке из диоксида кремния вследствие наличия макродефектов в процессе перекристаллизации возникающая неоднородная структура значительно отклоняется от равновесного состояния. Уровень протекания, определенный в высокотемпературной области, составляет 0.2 эВ .

Список литературы

- [1] Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. УФН, **117**, 401 (1975).
- [2] Е.В. Кучис. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования (М., Наука, 1990).
- [3] Ю.А. Никольский. ФТП, **24**, 1322 (1990).
- [4] Ю.А. Никольский. ФТП, **28**, 1972 (1994).
- [5] Ю.А. Никольский, С.Е. Зюзин. Вестн. ВГТУ. Сер. Материаловедение (Воронеж, Изд-во ВГТУ, 1998) с. 90.
- [6] Ю.А. Никольский. В.В. Поляков. Сб. науч. тр. Борисоглебского пед. ин-та (1996) с. 76.
- [7] В.А. Касьян, П.И. Кетруш, Ю.А. Никольский, Ф.И. Пасечник. Тонкие пленки антимонида индия (Кишинев, Штиница, 1989).

Редактор Л.В. Беляков

On the current flow mechanism in n -InSb films

Yu.A. Nikol'sky

Borisoglebsk State Pedagogical Institute,
397160 Borisoglebsk, Russia

Abstract The conduction band bottom structure of the polycrystalline and recrystallized n -InSb films grown onto the silicon dioxide substrates has been investigated proceeding from the conductivity dependence on temperature within the intrinsic conductivity range. The linear dependence $\ln \sigma = f(10^3/T)$ — may be watched at the different angle of the inclination in the inhomogeneous semiconductors in the intrinsic conductivity range. The value of percolation level has been determined from mean values $\Delta E_1, \Delta E_2, \dots, \Delta E_n$ and that equals to 0.165 eV for polycrystalline films and 0.2 eV for recrystallized ones.