

- [1] Baubinas R., Keitis B.-P., Reksnus R., Sakalas A. — Phys. St. Sol. (a), 1978, v. 50, N 1, p. K63—K65.
 [2] Бьюб Р. — В кн.: Физика и химия соединений $A^{IV}B^{IV}$ / Пер. с англ. М., 1970, с. 499—563.
 [3] Колдаев И. М., Лосев В. В., Орлов Б. М. — ФТП, 1984, т. 18, в. 9, с. 1678—1681.
 [4] Адирович Э. И., Карагеоргий-Алкалаев П. М., Лейдерман А. Ю. Токи двойной инжекции в полупроводниках. М., 1978. 320 с.

Получено 1.12.1987

Принято к печати 14.03.1988

ФТП, том 22, вып. 8, 1988

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБИВНОГО ПОЛЯ ($E_{пр}$) ОТ СТЕПЕНИ КОМПЕНСАЦИИ (C) В n -Ge

Качлишвили З. С., Хизанишвили Э. Г.

1. Низкотемпературный электрический пробой изучался неоднократно в ряде работ (см., например, [1-9]). Однако развитие и усовершенствование существующих теорий снова возвратили нас к этому вопросу.

При вычислении зависимости $E_{пр}(C)$ для конкретного эксперимента самым важным моментом является выбор правильной функции распределения. Такой выбор затруднен даже в случае, когда заведомо известно, что рассеяние энергии и импульса происходит на акустических фононах. Это связано с тем, что аналитическое решение кинетического уравнения возможно лишь в так называемых приближениях «высоких» и «низких» температур [10, 11] и из-за сильной зависимости $E_{пр}$ от C для разных C можно попасть в область энергии, для которой данная функция распределения или несправедлива, или вообще неизвестна («промежуточная» область температуры). Немаловажным фактом является также вычисление энергетической зависимости сечений захвата электронов и ударной ионизации примесей. Вопрос о вычислении энергетической зависимости при захвате на мелких уровнях, по-видимому, можно считать более или менее решенным, особенно после работы [12], в которой исправлена каскадная теория захвата Лэкса [13]. Вопрос же о вычислении дифференциального сечения ударной ионизации до сих пор остается одним из труднейших в теории пробоя. Этим объясняется то, что при вычислении коэффициента ударной ионизации обычно пользуются самыми разными приближениями.

Из вышеуказанных работ самой удачной, на наш взгляд, была работа [8], в которой экспериментально и теоретически исследована зависимость $E_{пр}(C)$ в чистых образцах n -Ge при 4.2 К. При этом теория хорошо описывает эксперимент, проведенный вплоть до $C=0.96$. Однако в этой работе, как и в других ранних (см., например, [2, 6]), коэффициент теплового захвата горячих электронов вычислен с использованием каскадной теории Лэкса [13], которая оказалась некорректной [12]. При вычислении же коэффициента ударной ионизации авторы [8] воспользовались результатами экспериментального определения энергетической зависимости сечения ионизации $\sigma_i(\varepsilon)$ для атома водорода; $\sigma_i(\varepsilon)$ была получена путем аппроксимации экспериментальной кривой и имеет вид

$$\sigma_i(\varepsilon) = \sigma_0 \frac{\eta - 1}{\eta^{3/4}}, \quad \eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_i}. \quad (1)$$

Значение параметра σ_0 подбиралось в [8] из условия точного соответствия теории эксперименту при малых C . На наш взгляд, это не совсем корректно по следующей причине. Во-первых, как показало исследование, полевая зависимость коэффициента ударной ионизации существенно зависит от выбора под-

гоночной точки (рис. 1). Во-вторых, вычисления в [8] проводятся в приближении «низких» температур, критерий которого по отношению приложенного электрического поля имеет вид [6]

$$E \gg E_1 \equiv 0.11T^{5/2} \text{ В/см.} \quad (2)$$

Для $T=4.2 \text{ К}$ и малой компенсации (подгонка производилась на экспериментальной точке З, рис. 2), как явствует из таблицы работы [8], условие (2) может нарушиться.

2. В настоящей работе предлагается новый подход к расчету $E_{np}(C)$, который свободен от недостатков старых теорий. Вычисления проведены в условиях эксперимента [8]. Коэффициент теплового захвата $B_T(E)$ рассчитан с использованием формулы для дифференциального сечения захвата, полученной в [14] на основе результатов исправленной теории Лэкса [12].¹

Указанная формула правильно описывает процесс захвата во всем интервале энергий захватываемого электрона [14].

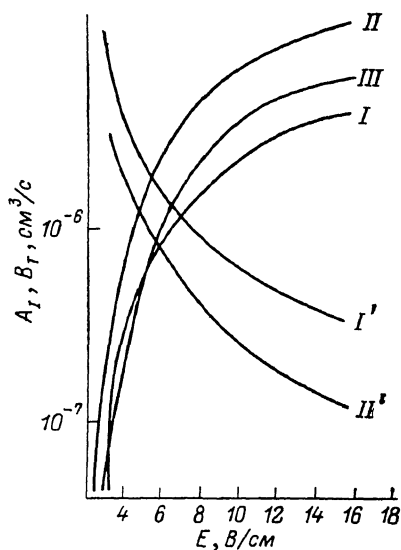


Рис. 1. Теоретические зависимости $A_I(E)$ при различных параметрах расчета.

I, II' — $B_T(E)$.

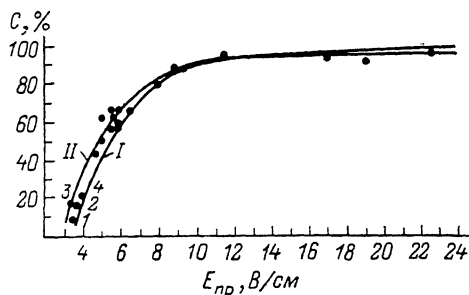


Рис. 2. Зависимость E_{np} от компенсации C . I, II — теоретические кривые. Точки — эксперимент, цифры соответствуют номерам образцов в таблице [8].

Что же касается коэффициента ударной ионизации $A_I(E)$, он вычисляется с помощью дифференциального сечения, полученного Дравиним [15]. Оно, как показывают многочисленные сравнения с экспериментом, является лучшим эмпирическим выражением для $\sigma_i(\varepsilon)$, соединяющим достоинства как классических выражений, справедливых при малых энергиях столкновения, так и квантово-механического выражения Бете, годного для больших энергий:

$$\sigma_i(\varepsilon) = 2.66\sigma_0 \frac{\tau_1 - 1}{\tau_1^2} \ln(1.25\tau_1), \quad (3)$$

где $\sigma_0 = (N_e/\varepsilon_i^2) \pi a_0^2$, ε_i — потенциал в ед. Ру, a_0 — боровский радиус водородоподобного центра, N_e — число электронов в оболочке, из которой происходит возбуждение.

Рассчитанная по этой формуле зависимость $A_I(E)$ имеет вид, приведенный кривой III на рис. 1 [кривая I рассчитана по формуле (1), $\sigma_0 = 5.36 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$, подгонка производилась на экспериментальной точке I (рис. 2); II — $\sigma_0 = 15.1 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$, подгонка производилась на точке З (рис. 2); III — $A_I(E)$ рассчитана по формуле (3)]. Для сравнения на том же рисунке приведены зависимости $B_T(E)$, вычисленные нами (кривая I') и по теории Лэкса (кривая II'). Очевидно существенное различие между ними. На рис. 2 даются кривые зависи-

¹ В работе [9] при вычислении $E_{np}(C)$ использованы результаты работы [12], однако расчеты проведены в приближении электронной температуры, которое для эксперимента [8] не справедливо.

мости $E_{\text{пр}}(C)$, построенные по данным настоящей работы (кривая I) и работы [8] (кривая II). Здесь же приведены экспериментальные точки из [8].

Вычисления проведены в приближении «низких» температур с помощью функции распределения Стреттона [11]. Поэтому с учетом вышесказанного относительно справедливости критерия этого приближения (2) совпадение теоретического результата с экспериментом можно считать удовлетворительным.

Авторы благодарят Е. М. Гершензона за интерес к работе и обсуждение результатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Чуенков В. А. — ФТТ, 1960, т. 2, в. 5, с. 799—809.
- [2] Zylberstein A. — Phys. Rev., 1962, v. 127, N 3, p. 744—749.
- [3] Koenig S. H., Brown R. D., Shillinger W. — Phys. Rev., 1962, v. 128, N 4, p. 1668—1697.
- [4] Заварицкая Э. И. — В кн.: Тр. ФИ АН СССР. М., 1966, т. 37, с. 41—101.
- [5] Чуенков В. А. — ФТП, 1968, т. 2, в. 3, с. 353—362.
- [6] Качлишвили З. С. — ФТП, 1968, т. 2, в. 4, с. 580—584.
- [7] Банная В. Ф., Веселова Л. И., Гершензон Е. М., Гринберг В. Р. — ФТП, 1971, т. 5, в. 1, с. 155—158.
- [8] Банная В. Ф., Веселова Л. И., Гершензон Е. М., Чуенков В. А. — ФТП, 1973, т. 7, в. 10, с. 1972—1977.
- [9] Khan F. A., Bhattacharyat D. P. — J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1984, v. 17, p. 3463—3473.
- [10] Давыдов Б. И. — ЖЭТФ, 1937, т. 7, в. 8—10, с. 1069—1089.
- [11] Stretton R. — Proc. Roy. Soc., 1957, v. A242, p. 355—362.
- [12] Абакумов В. Н., Ясневич И. Н. — ЖЭТФ, 1976, т. 71, в. 2 (8), с. 657—663.
- [13] Lax M. — Phys. Rev., 1960, v. 119, N 5, p. 1502—1523.
- [14] Гегечкори Т. О., Джакели В. Г., Качлишвили З. С. — Сообщ. АН ГССР, 1981, т. 103, в. 3, с. 565—567.
- [15] Drawin H. W. — Zs. Phys., 1961, v. 164, p. 513—522.

Тбилисский
государственный университет

Получено 15.12.1987
Принято к печати 14.03.1988

ФТП, том 22, вып. 8, 1988

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}\langle\text{Br}\rangle$ И МЕХАНИЗМЫ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Курбанов К. Р., Палкин А. М., Скубневский Э. В., Станкевич Е. Т.

Особый интерес представляет исследование соединений $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ и их твердых растворов, легированных различными примесями, поскольку последние в силу нетривиальности их поведения в этих материалах могут придать им новые необычные свойства [1].

В данной работе, по-видимому, впервые сообщается об электрофизических свойствах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ ($x=0.2$), обработанного в парах брома в условиях, когда кристалл может быть легирован атомами брома. В работе также проводится анализ температурной зависимости подвижности электронов с целью определения константы деформационного потенциала.

В настоящее время, по литературным данным, важный параметр, определяющий степень взаимодействия электронов с акустическими фононами, — константа деформационного потенциала Ξ — имеет разброс значений от 12 до до 45 эВ [2—8]. Большой разброс значений Ξ в этих работах, по-видимому, связан с тем, что авторы в основном анализировали подвижность носителей заряда либо при фиксированных температурах, либо в интервале относительно высоких температур, где доминирующую роль в рассеянии играют оптические фононы; кроме того, исследовались преимущественно вырожденные образцы, в которых механизм рассеяния более сложен, чем в невырожденных. Выраженные нами кристаллы (методом Чохральского) $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ имели n -тип проводимости.