

На рисунке, б также приведено изменение концентрации ТЦ при низкотемпературной обработке (для сравнения штриховой кривой показано изменение его концентрации в контрольных образцах при 150 °С). После каждого изотермического отжига диоды охлаждались в холодной воде. Видно, что в образцах Si<Ni> ТЦ становится более термостабильным. Исчезновение аномалий в кинетике отжига ТЦ в Si<Ni> обусловлено подавлением никелем другого ТЦ с уровнем $E_c = -0.33$ эВ, ответственного за эти аномалии [2, 3].

Исследование профиля концентрации ТЦ показывает, что он в образцах Si<Ni> при низкотемпературной обработке не претерпевает изменений до $T \approx 150$ °С, тогда как в контрольных образцах наблюдается его сильное изменение в температурном интервале 20–150 °С.

Полученные результаты невозможно объяснить взаимодействием только электрически активных атомов Ni с ТЦ, так как их всегда меньше, чем ТЦ в контрольных образцах без Ni. Следовательно, влияние Ni на образование и отжиг ТЦ заключается во взаимодействии электрически не активных атомов Ni (преципитатов) с компонентами ТЦ и технологическими примесями (O, C).

Список литературы

- [1] Абдурахманов К. П., Умаров Т. А., Ходжаев М. Д. // Препринт ИЯФ АН УзССР. Ташкент, 1984. № Р-7-131.
- [2] Абдурахманов К. П., Умаров Т. А., Ходжаев М. Д. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 3. С. 573.
- [3] Абдурахманов К. П., Умаров Т. А., Тешабаев А. Т., Ходжаев М. Д. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 7. С. 1173–1175.
- [4] Берман Л. С. Емкостные методы исследования полупроводников. Л., 1972. 104 с.
- [5] Абдурахманов К. П., Ходжаев М. Д., Тешабаев А. Т. // Тез. докл. VI Всес. конф. по физико-химическим основам легирования полупроводниковых материалов. М., 1988. С. 14–15.

Научно-исследовательский
институт прикладной физики
ТГУ им. В. И. Ленина
Ташкент

Получено 1.11.1988
Принято к печати 7.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛАЗМЫ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ПРОБОЕ В n -InSb

Ботте В. А., Владимиров В. В., Горшков В. Н.,
Липтуга А. И., Малотенко В. К.

Явление поперечного межзонного пробоя (ПП), возникающего в достаточно сильных скрещенных электрическом и магнитном полях под действием холловского поля, было открыто Гликсманом и др. [1]. Согласно расчетам [2], вследствие магнитоконцентрационного эффекта (МКЭ) и ПП концентрация плазмы в слое сильного сжатия (вблизи грани с низкой скоростью поверхностной рекомбинации s_{\min}) может достигать больших значений, на 2–3 порядка превышающих концентрацию доноров.

В настоящей работе проведено измерение концентрации плазмы в слое сильного сжатия в монокристаллических образцах n -InSb ($N_d - N_a = 10^{14}$ см⁻³) по отражению излучения маломощного CO₂-лазера ($\lambda = 10.6$ мкм). Образцы вырезались в виде пластин 0.25×0.15 см толщиной ~ 50 мкм с различной обработкой противоположных широких граней¹ ($s_{\min} \approx 10^3$ см/с — химическое травление,

¹ Такая обработка способствует более заметному пространственному перераспределению плазмы при отжиге на грань с малой скоростью поверхностной рекомбинации.

$s_{\max} \approx 10^6$ см/с — механическая полировка) и омическими контактами на торцах. Электрическое поле E подавалось на образец в виде прямоугольного импульса длительностью $0.5 \div 1$ мкс, магнитное поле H было постоянным. Отраженное излучение фиксировалось CdHgTe-фотоприемником.

На рис. 1 представлены характерные зависимости тока от магнитного поля. Рост тока при $1 < H < 2$ кЭ обусловлен доминирующей ролью ПП, дальнейшее снижение тока вызвано замагничиванием плазмы и, как следствие, ослаблением темпа поперечного пробоя [3].

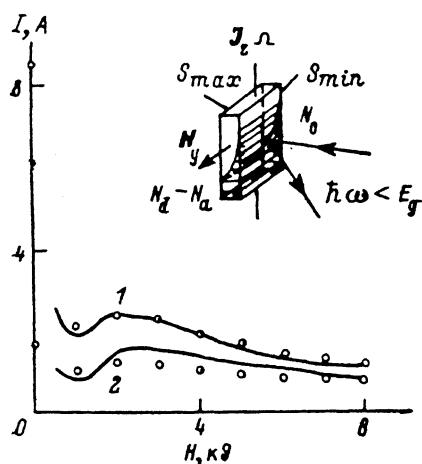


Рис. 1. Гауссамперные характеристики n -InSb при 120 К.

Точки — эксперимент, сплошные линии — расчет. E , В/см: 1 — 400, 2 — 300. На вставке — ориентация образца по отношению к внешним воздействиям.

ственного распределения плазмы при ПП описана в [2, 3]. Как видно из рис. 2, экспериментальные зависимости $(\Delta R/R_0)(H, E)$ качественно отличны от поведения $N_0(H, E)$: зависимость $(\Delta R/R_0)(H)$ немонотонна (рис. 2, а), характер чередования кривых $(\Delta R/R_0)(E)$ и $N_0(E)$ при изменении магнитного поля различен (рис. 2, б). Это обстоятельство связано с тем, что в условиях наших экспериментов толщина плазменного слоя δ значительно меньше длины волны зондирующего излучения.

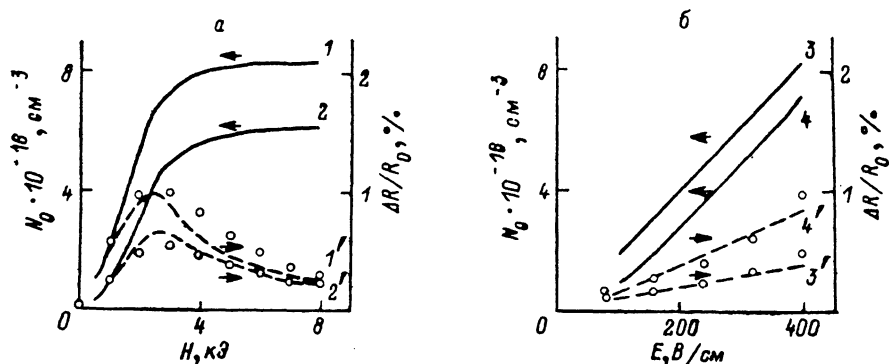


Рис. 2. Полевые зависимости поверхностной концентрации носителей заряда (1—4) и изменения коэффициента отражения (1'—4') кристаллов n -InSb от магнитного (а) и электрического (б) полей при 120 К.

Линии — расчет, точки — эксперимент. E , В/см: 1, 1' — 400; 2, 2' — 300. H , кЭ: 3, 3' — 6; 4, 4' — 3.

щего излучения в кристалле λ/n ($n \approx 4$ — показатель преломления), и производить вычисления в приближении геометрической оптики ($\Delta R \sim N_0$, отраженный сигнал уменьшается при увеличении N_0 , если частота зондирующего излучения много больше плазменной) при определении N_0 по измеренному $\Delta R/R_0$ уже нельзя. В условиях $\lambda/2\pi n > \delta$ необходимо учитывать отражение от всего фронта пространственного распределения плазмы, а не только от границы вакуум—образец. В этом случае коэффициент отражения увеличивается, что и определяет необычный характер зависимостей $(\Delta R/R_0)(H, E)$.

При МКЭ пространственное распределение плазмы в узком слое сильного сжатия имеет вид $N = N_0 \exp(-x/\delta)$ [4], где $\delta = 2D_h/v_1$, $v_1 = v_a(E) b_h H/c -$

скорость поперечного амбиполярного дрейфа, $v_d(E)$ — дрейфовая скорость электронов в электрическом поле, $D_k \approx 10^2$ см/с, $b_k = 2 \cdot 10^6$ CGSE — коэффициент диффузии и подвижность дырок, x — координата, отсчитываемая от поверхности, на которую отжимается плазма при МКЭ.

С ростом H толщина плазменного слоя δ уменьшается и отражение от него усиливается. При $v_d \approx 5 \cdot 10^7$ см/с и $H > 3$ кЭ $\delta < 2 \cdot 10^{-5}$ см $\ll \lambda/n$. Поскольку плазменный слой определяет величину тока, $N_0 \sim I(H) H$ (ввиду

$I \sim \int_0^\delta N dx \sim N_0 \delta$). Поэтому в области магнитных полей, соответствующих

проявлению ПП (рис. 1; ток растет с магнитным полем), N_0 суперлинейно увеличивается с магнитным полем, а затем насыщается по мере спада $I(H)$ (рис. 2, а). Соответственно $\Delta R/R_0$ растет с увеличением H (но менее резко, поскольку усиливается отражение, обусловленное большим градиентом показателя преломления в плазменном слое), а затем по мере насыщения N_0 уменьшается.

При увеличении электрического поля толщина слоя δ меняется незначительно ввиду насыщения дрейфовой скорости, а N_0 возрастает (усиливается ПП). Отсюда и растущая зависимость $(\Delta R/R_0)(E)$. Изменение характера чередования расчетных $N_0(E)$ и измеренных $(\Delta R/R_0)(E)$ при разных магнитных полях вызвано более сильным отражением при увеличении магнитного поля.

При расчете $\Delta R/R_0$ (рис. 2, а, б) использовались уравнения волновой оптики с учетом зависимости диэлектрической проницаемости от концентрации плазмы $N(x)$. Схема расчета аналогична приведенной в работе [5]. Хорошее согласие вычисленных и измеренных значений $(\Delta R/R_0)(H, E)$ позволяет считать, что расчетные величины $N_0(H, E)$ при ПП соответствуют реальным.

Список литературы

- [1] Glicksman M., Nicinbothem W. A. // Phys. Rev. 1963. V. 129. N. 4. P. 1572—1577. Toda M., Glicksman M. // Phys. Rev. 1965. V. 140. N. 4A. P. 1317—1323.
- [2] Абдурахманов С. Н., Владимиров В. В., Горшков В. Н. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 3. С. 378—383.
- [3] Владимиров В. В., Горшков В. Н., Коллюх А. Г., Малютенко В. К. // ЖЭТФ. 1982. Т. 82. В. 6. С. 2001—2006.
- [4] Смит Р. Полупроводники. М., 1982. 560 с.
- [5] Алмазов Л. А., Липтуга А. И., Малютенко В. К., Федоренко Л. Л. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 10. С. 1940—1946.

Институт полупроводников
АН УССР
Киев

Получено 15.12.1988
Принято к печати 7.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

ЭПР И МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ДЕФЕКТНЫХ КРИСТАЛЛОВ $A_2^{III}V_3^{VI}$, ЛЕГИРОВАННЫХ МАРГАНЦЕМ

Аскеров И. М., Мастеров В. Ф., Романов В. В., Штельмах К. Ф.

В работе [1] сообщалось, что в соединениях Ga_2S_3 марганец находится в состоянии $Mn^{2+}(3d^5)$, при этом спектр ЭПР такого центра может представлять собой либо одиночную широкую линию с $g=1.995$ в образцах без предварительной термообработки, либо разрешенную сверхтонкую структуру с $g=2.003$ и $A=81$ Э в образцах после отжига при $T=1250$ К, $t_{отж}=450$ ч.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования ЭПР и магнитной восприимчивости образцов Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 , легированных марганцем. Образцы получены стандартным методом [2], причем марганец растворялся