

практически не меняется. Температурные зависимости максимумов обеих составляющих длинноволнового дихроизма \mathcal{P}_T , как и в собственной области, следуют линейному закону. Температурные коэффициенты $E_{\text{акт}}$ и ширина запрещенной зоны CuInTe_2 в диапазоне 77—300 К приведены в таблице. Следует отметить, что имеется корреляция между температурными зависимостями длинноволно-

Спектральное положение максимума
линейного дихроизма пропускания $\hbar\omega_{\text{мах}}$,
анизотропия оптического поглощения $\Delta\alpha=(\alpha_{\parallel}-\alpha_{\perp})$
при $T=300$ К и температурный коэффициент энергии
оптической активации уровней dE/dT в диапазоне
 $T=370-77$ К для нелегированных монокристаллов
 $p\text{-CuInTe}_2$

Энергетический уровень	$\hbar\omega_{\text{мах}}$, эВ	$\Delta\alpha$, см ⁻¹	$(dE/dT) \cdot 10^4$, эВ/К
E_1	0.73	-39	-1.9
E_2	0.81	-39	-3.1
E_G	0.99	-800	-1.9

вой и собственной оптической анизотропии CuInTe_2 в диапазоне 77—300 К, с одной стороны, и тетрагональной деформацией кристаллической решетки этого вещества — с другой.

Таким образом, в нелегированных монокристаллах $p\text{-CuInTe}_2$ обнаружена оптическая анизотропия в области поглощения с участием глубоких уровней. Длинноволновое поглощение доминирует в поляризации $E \perp c$, что отвечает правилам отбора для переходов $\Gamma_6^v \rightarrow \Gamma_6^c$.

Список литературы

- [1] Landolt-Bornstein. V. 17-h. Physics of Ternary Compounds / Ed. by O. Madelung. Berlin—Heidelberg, 1985. 565 p.
- [2] Quintero M., Wooley J. C. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 8. P. 2825—2829.
- [3] Боднар И. В., Борисенко Т. Е., Корзун Б. В., Попельник Г. П. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1984. Т. 20. В. 11. С. 1810—1813.
- [4] Neumann H., Deus P., Tomlinson R. D., Kühn G., Hintze B. // Phys. St. Sol. (a). 1984. V. 84. N 1. P. 87—93.
- [5] Чернявский В. П., Полягалов Ю. И., Поплавкой А. С. // УФЖ. 1972. Т. 17. В. 9. С. 1535—1539.
- [6] Neumann H. // Cryst. Res. Techn. 1983. V. 18. N 4. P. 483—490.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 13.05.1988
Принято к печати 7.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА КИНЕТИКУ ОБРАЗОВАНИЯ И ОТЖИГА ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В КРЕМНИИ

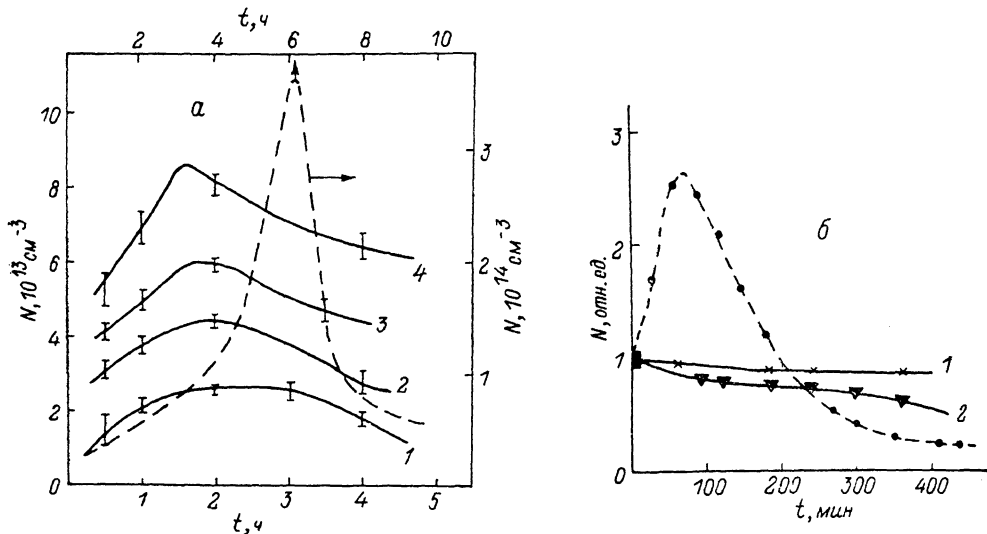
Абдурахманов К. П., Ходжаев М. Д., Тешабаев А. Т., Умаров Т. А.

В работах [1-3] были приведены результаты по исследованию кинетики образования и отжига термического центра (ТЦ) с энергией ионизации $E_i+0.4$ эВ и сечением захвата для дырок $\sim 10^{-16}$ см², природа которого связывалась с комплексом $V+B$.

В данной работе сообщаются результаты исследований влияния Ni на кинетику образования и отжига вышеуказанного ТЦ в Si.

На образцы бездислокационного *p*-Si ($\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), выращенного методом Чохральского, путем предварительной переплавки особо чистой NiO в вакууме насыляли Ni. Диффузия Ni в Si осуществлялась в откачанных (до $\sim 10^{-3}$ мм рт. ст.) кварцевых ампулах в температурном интервале $950 \div 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $0.5 \div 16$ ч с последующей закалкой в воде ($v_{\text{охл}} \approx 500$ град/с). Далее на образцах Si<Ni> путем напыления Au и Sb получены диоды с барьером Шоттки. Параметры и концентрации глубоких центров определены методом изотермической релаксации емкости [4], а общая концентрация введенного Ni и загрязняющих примесей контролировалась методом нейтронно-активационного анализа.

Результаты нейтронно-активационного анализа образцов Si<Ni> показывают, что концентрация Ni со временем диффузии изменяется монотонно: об-



Зависимость концентрации ТЦ от времени диффузии Ni (а) и времени низкотемпературной обработки (б).

T , $^\circ\text{C}$: а) 1 — 1050, 2 — 1100, 3 — 1125, 4 — 1150; б) 1 — 150, 2 — 180.

разцы насыщаются никелем (в концентрациях $\sim 10^{16} \div 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) в течение $\sim 6 \div 1$ ч при температурах диффузии $950 \div 1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Концентрации загрязняющих примесей типа Au и Fe в Si<Ni> были меньше ($\sim 10^{12}$ и 10^{13} см^{-3} соответственно), чем в термообработанных при аналогичных условиях контрольных образцах без Ni, что связано с их геттерированием никелем [5].

На рисунке, а приведены зависимости концентрации ТЦ от времени диффузии Ni при различных температурах. Там же приведена зависимость концентрации ТЦ от времени термообработки при $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ в контрольных образцах (штриховая кривая). Видно, что эти зависимости в Si<Ni> имеют колоколообразный вид, как и в случае контрольных образцов [1]. Однако значения концентрации ТЦ в образцах Si<Ni> более чем на порядок меньше по сравнению с концентрацией ТЦ в контрольных образцах без Ni. Следует отметить, что в диодах, изготовленных из контрольных образцов, термообработанных при $T \geq 1075 \text{ }^\circ\text{C}$, невозможно было проводить емкостные измерения вследствие компенсации базы термическими донорами. В диодах из Si, легированного никелем при $T < 1200 \text{ }^\circ\text{C}$, значение исходной концентрации ионизованных зарядов сохраняется.

Из рисунка видно, что положения максимумов концентрации ТЦ в Si<Ni> смещаются в сторону малых времен по сравнению с контрольными образцами. По зависимости концентрации в максимуме от температуры диффузии Ni определили энергию образования ТЦ, она составляет 2.3 эВ, что соответствует значению энергии образования ТЦ в контрольных образцах без Ni (2.32 эВ) [4].

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.