

©1994 г.

БЫСТРЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО GaAs, ОБЛУЧЕННОГО РЕАКТОРНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Т.Н.Зайцева, Н.Г.Колн, О.Л.Кухто, К.Н.Нарочный, А.И.Нойфел

Научно-исследовательский физико-химический институт им.Л.Я.Карпова,
249020, Обнинск, Россия
(Получена 9 февраля 1994 г. Принята к печати 25 мая 1994 г.)

Найдены оптимальные режимы быстрого термического отжига объемного полуизолирующего GaAs, облученного полным спектром реакторных нейтронов. Показано, что быстрый термический отжиг более эффективен, чем длительный отжиг (подвижность электронов увеличивается в 1.3–1.5 раза), режимы оптимального отжига зависят от параметров исходного материала и дозы облучения.

Как известно, метод быстрого термического отжига (БТО) с помощью галогенных ламп накаливания в последнее время широко применяется в различных технологических операциях: при изготовлении контактов к полупроводникам [1], отжиге имплантированных слоев [2,3], пленок силицидов [4] и пластин полупроводников [5–8]. В работах [7,8] была показана возможность получения положительного результата при импульсном отжиге (БТО) ядерно-легированного арсенида галлия. Такое внимание к БТО объясняется многими достоинствами метода, главным из которых является сокращение технологического цикла по сравнению с обычным (длительным) отжигом в печи. Цель данной работы заключается в попытке использовать БТО для отжига радиационных дефектов в образцах объемного полуизолирующего (ПИ) GaAs, облученного полным спектром реакторных нейтронов. Исследовались зависимости холловской подвижности электронов μ от температуры отжига T_a и времени выдержки t при оптимальной температуре. Тем самым найден оптимальный режим термической обработки для данного материала после модифицирования его облучением и определены условия БТО, при которых возможно повышение однородности свойств и подвижности электронов в ПИ GaAs.

В качестве исходного материала для облучения нейтронами использовались легированные хромом и кислородом монокристаллы арсенида галлия промышленной марки АГЧП-2, выращенные методом Чохральского. По исходным электрофизическим данным (удельному

сопротивлению ρ и подвижности μ) образцы были разделены на две группы: I группа — $\rho = (2-3) \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\mu = 2700-3500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; II группа — $\rho = (7 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^8) \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\mu = 3600-3700 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Образцы для получения вырезались в виде пластин толщиной до 1 мм. Облучение образцов I группы потоком тепловых нейтронов $\Phi_T = 9.4 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (интенсивность потока $\varphi_T = 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) проводили в вертикальных каналах реактора ВВР-ц при температуре $\leq 70^\circ\text{C}$ и соотношении интенсивностей потоков тепловых (φ_T) и быстрых (φ_F) (с энергией $E > 0.1 \text{ МэВ}$) нейтронов $\varphi_T/\varphi_F = 1$. Суммарная концентрация вводимых трансмутационным легированием примесей Ge и Se при этом составляла $N = 1.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [9]. Облучение образцов II группы потоком тепловых нейтронов $\Phi_T = 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ проводили в аналогичных условиях, в этом случае $N = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Электрофизические параметры определяли при комнатной температуре из измерений эффекта Холла и электропроводности методом Ван-дер-Пау.

После облучения из разных участков пластин GaAs вырезались образцы размерами $10 \times 10 \text{ мм}^2$. Кратковременный отжиг образцов толщиной 0.4–0.5 мм в интервале температур 600–1000 °C проводили в азотной атмосфере в цилиндрической кварцевой ковчеге импульсами излучения галогенных ламп, расположенных по обе стороны образца. Общая длительность импульсов составляла 35–65 с с общей выдержкой при максимальной температуре 10–40 с. Времена выхода на максимальную температуру и спада до 300–400 °C после отключения ламп достигали 20–25 с и 10–15 с соответственно. До и после БТО образцы шлифовали и химически травили для удаления деградированного слоя. Электрофизические параметры материала устанавливаются в интервале температур 800–950 °C. При всех испытанных температурах образцы ПИ GaAs остаются высокоомными. После облучения реакторными нейтронами наблюдается сильный разброс значений подвижности носителей заряда от образца к образцу и в среднем значение μ меньше, чем до облучения. Зависимости холловской подвижности электронов от температуры отжига $\mu(T_a)$ при $t = 30 \text{ с}$ для образцов I группы и от длительности выдержки $\mu(t)$ при $T_a = 810^\circ\text{C}$ для образцов II группы представлены на рис. 1 и 2 соответственно. Из рис. 1 видно, что при изохронном ($t = 30 \text{ с}$) быстром отжиге подвижность носителей заряда образцов I группы растет с повышением температуры отжига до 850 °C, а затем значение μ уменьшается при дальнейшем росте температуры до 950 °C. Наличие максимумов на этих кривых (рис. 1, 2)

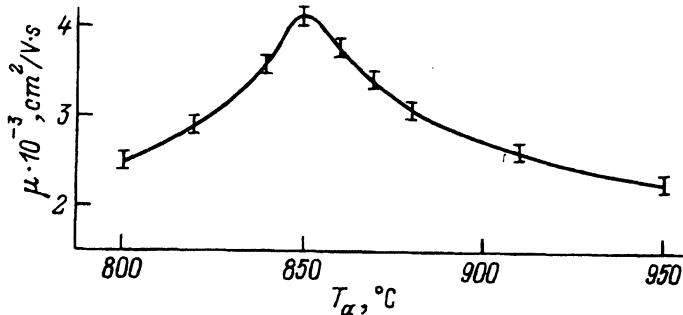
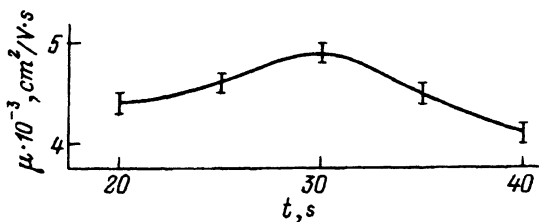


Рис. 1. Зависимость подвижности электронов в образцах GaAs I группы от температуры БТО при $t = 30 \text{ с}$.

Рис. 2. Зависимость подвижности электронов в образцах GaAs II группы от времени БТО при $T_a = 810^\circ\text{C}$.



при различных фиксируемых температурах свидетельствует о необходимости подбора для каждого слитка ПИ GaAs оптимальных режимов БТО, которые могут отличаться как значением температуры, так и временем отжига.

Полученные результаты позволяют предположить, что при температурах ниже 850°C происходят отжиг радиационных дефектов и электрическая активация доноров (Ge и Se), сопровождаемые ростом концентрации и подвижности электронов, а при температуре выше 850°C преобладает переход Ge в подрешетку As, что влечет за собой увеличение степени компенсации и спад подвижности носителей заряда [8]. Контрольная партия образцов из I и II групп была подвергнута обычному отжигу в печи при 870°C в течение 20 мин. Используемый режим отжига подобен тому, при котором отжигается ядерно-легированный арсенид галлия [9]. Из измерений после длительного термического отжига были получены следующие значения электрофизических параметров: I группа — $\rho = 2 \times 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\mu = 2800\text{--}3500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; II группа — $\rho = 1 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\mu = 2900\text{--}3300 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Оптимальные режимы БТО для данной марки ПИ GaAs, облученного реакторными нейтронами, и полученные при этом значения параметров таковы: I группа — $T_a = 850^\circ\text{C}$, $t = 30 \text{ с}$, $\rho = 2 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\mu = 4000\text{--}4200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; II группа — $T_a = 810^\circ\text{C}$, $t = 30 \text{ с}$, $\rho = 1.5 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $\mu = 4900\text{--}5000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Таким образом, достигаемые значения подвижности электронов после БТО в 1.3–1.5 раза превышают значения μ (при тех же ρ) после длительного отжига, что, возможно, связано с уменьшением концентрации глубоких центров ($EL3$, $EL5$, $EL6$) при термообработках в используемых интервалах температур [10]. Допустимые отклонения оптимальных величин температуры и времени выдержки сравнительно малы, $\Delta T_a = \pm 10^\circ\text{C}$, $\Delta t = \pm 5 \text{ с}$, и указывают на то, что оптимальные режимы при БТО ПИ GaAs более чувствительны к параметрам исходного материала и дозе облучения, чем при длительном термическом отжиге [9]. Результаты данной работы, с учетом ранее опубликованного [8], свидетельствуют о том, что при низких уровнях ядерного легирования GaAs ($N \sim 10^{15}\text{--}10^{17} \text{ см}^{-3}$) БТО позволяет улучшить электрофизические параметры материала.

Метод БТО является перспективным применительно к облученному ПИ GaAs и необходимо продолжить исследования влияния быстрого термического отжига (и, вероятно, комбинированного с длительным термическим отжигом) на параметры и свойства объемных монокристаллов как облученного, так и необлученного арсенида галлия.

Авторы выражают благодарность В.П.Кухару и В.П.Чубыкину за помощь в наладке и совершенствовании экспериментальной установки.

Список литературы

- [1] A. Katz, B.E. Weir, S.N.G. Chu, P.M. Thomas, M. Soler, T. Boone, W.C. Dautremont-Smith. *J. Appl. Phys.*, **67**, 3872 (1990).
- [2] A. Тамыра, Т. Uenoyama, К. Nishii, К. Inoue, Т. Onuma. *J. Appl. Phys.*, **62**, 1102 (1987).
- [3] M. Kohno, H. Hida, Y. Ogawa, M. Fujii, T. Maeda, K. Ohata. *J. Appl. Phys.*, **69**, 1294 (1991).
- [4] C.A. Dimitriadis, E.K. Polychroniadis. *J. Appl. Phys.*, **70**, 3109 (1991).
- [5] H.A. Lord. *IEEE Trans. Semicond. Manufact.*, **SM-1**, 105 (1988).
- [6] H.Y.Cho, E.K. Kim, S.-K. Min. *J. Appl. Phys.*, **66**, 3038 (1989).
- [7] J. Wagner, M. Ramsteiner, W. Haydl. *J. Appl. Phys.*, **61**, 3050 (1987).
- [8] Ф.П. Коршунов, Н.А. Соболев, Н.Г. Колин, Е.А. Кудрявцева, Т.А. Прохоренко. *ФТП*, **22**, 1850 (1988).
- [9] Н.Г. Колин, Л.В. Куликова, В.Б. Освенский, С.П. Соловьев, В.А. Харченко. *ФТП*, **18**, 2187 (1984).
- [10] M. Katayama, A. Usami, T. Wada, Y. Tokuda. *J. Appl. Phys.*, **62**, 528 (1987).

Редактор Л.В. Шаронова
