

ОТЖИГ НЕЛЕГИРОВАННОГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, ОБЛУЧЕННОГО ГАММА-КВАНТАМИ Co^{60} И БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Ф.П. Коршунов, Н.Ф. Курилович, Т.А. Прохоренко
Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси
220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 17, тел. (017) 284-11-27, e-mail: Korshun@iftt.bas-net.by

Исследовано влияние облучения гамма-квантами Co^{60} и электронами с энергией 4 МэВ и последующего изохронного отжига на концентрацию носителей заряда в монокристаллах нелегированного арсенида галлия n-типа. Концентрация носителей заряда уменьшается с ростом флюенса гамма-квантов и электронов по экспоненциальному закону. Получены коэффициенты снижения концентрации k_n для случаев электронного и γ -облучения для комнатной температуры измерений. Определена сравнительная эффективность воздействия на изменение концентрации носителей заряда в кристаллах n-GaAs при облучении электронами с $E = 4$ МэВ и гамма квантами Co^{60} . Восстановление концентрации носителей заряда в процессе отжига в облученном γ -квантами материале происходит в одну стадию и при более низкой температуре, в отличие от облученного электронами материала, где отжиг происходит в две стадии. Это указывает на различие радиационных дефектов, образующихся в процессе облучения гамма-квантами и электронами.

Введение

Арсенид галлия широко используется в производстве приборов электронной техники. Эти приборы могут работать в условиях радиации, в результате чего в кристаллической структуре арсенида галлия образуются радиационные дефекты. Изучение свойств и природы этих дефектов при воздействии на GaAs различных источников излучения представляет как научный, так и практический интерес [1-4].

Основная часть

В данной работе приводятся результаты исследования облучения и отжига радиационных нарушений в монокристаллах нелегированного арсенида галлия n-типа с концентрацией носителей заряда $n = (5-8) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и холловской подвижностью электронов $\mu = 5 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В с}$, облученных гамма-квантами Co^{60} и быстрыми электронами с энергией 4 МэВ. Величины подвижности и концентрации электронов исходных, облученных и отожженных образцов определялись из измерений эффекта Холла и электропроводности при температуре 291 К и 100 К. Облучение кристаллов выполнялось при комнатной температуре гамма-квантами Co^{60} на гамма-установке «Исследователь» и быстрыми электронами на ускорителе «ЭЛУ-4». Отжиг образцов проводился на воздухе в кварцевых ампулах в интервале температур 80-450°C с температурным шагом 25°C и временем выдержки при каждой температуре 20 минут.

Радиационные дефекты, образующиеся в кристаллах GaAs при облучении, вызывают изменение его электрических свойств.

Экспериментальные результаты (рис. 1) изменения концентрации носителей заряда в арсениде галлия в зависимости от дозы гамма-квантов (а) и электронов (б) на начальных этапах облучения хорошо описываются экспоненциальной зависимостью вида:

$$n = n_0 \exp(-k_n \Phi),$$

где n_0 - концентрация основных носителей заряда до облучения (см^{-3}); Φ - доза облучения

частиц/ см^2); k_n - коэффициент снижения концентрации носителей заряда ($\text{см}^2/\text{частиц}$).

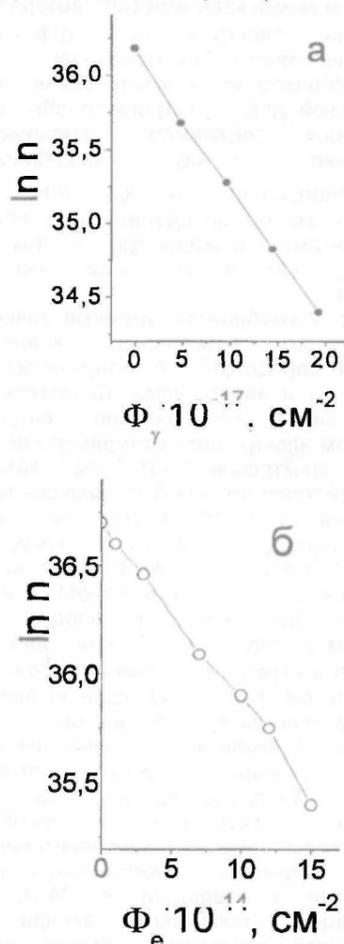


Рис. 1. Влияние облучения гамма-квантами (а) и электронами с энергией 4 МэВ (б) на концентрацию носителей заряда в нелегированном GaAs n-типа

Поскольку зависимость $\ln n = f(\Phi)$ линейна, можно заключить, что в удалении носителей заряда среди множества дефектов, вводимых в кристалл

электронным и γ -облучением участвует некоторый доминирующий дефект, концентрация которого намного превышает суммарную концентрацию остальных дефектов.

Из графика зависимости $\ln n = f(\Phi)$ были определены значения коэффициента k_n для случаев электронного и гамма-облучения для комнатной температуры измерений. Эти результаты представлены в таблице.

Таблица 1

Температура Измерения, К	$k_{n\alpha}$, см ² /эл	$k_{n\gamma}$, см ² /квант	$k_{n\alpha}/k_{n\gamma}$, квант/эл
291	$8,7 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-16}$	870

Отношение коэффициентов $k_{n\alpha}/k_{n\gamma}$ дает сравнительную эффективность воздействия на изменение концентрации носителей заряда в кристаллах n-GaAs при облучении электронами с $E = 4$ МэВ и гамма квантами Co^{60} , которая $\cong 870$, т.е. один электрон по эффективности воздействия равен 870 гамма-квантам.

Таким образом, имея результаты воздействия определенной дозы электронного облучения на концентрацию электронов проводимости и соотношение между коэффициентами пропорциональности $k_{n\alpha}/k_{n\gamma}$, для данного материала, можно определить дозу облучения гамма-квантами, приводящую к такому же результату, как данная доза электронного облучения.

На рис. 2 изображены дозовые зависимости относительного изменения концентрации носителей заряда n/n_0 в облученном гамма-квантами (а) и электронами (б) материале. Из рисунка видно, что значение $n/n_0=0,27$ в облученном электронами материале достигается при дозе электронов $1,5 \cdot 10^{15}$ см⁻², которая по своему действию должна быть равносильна дозе γ -облучения $\Phi = 1,3 \cdot 10^{18}$ см⁻² (т.е. $\Phi_e = \Phi_\gamma \cdot 870$). Действительно, расчетная точка с координатами $\Phi = 1,3 \cdot 10^{18}$ см⁻² и $n/n_0 = 0,27$ ложится на экспериментальную кривую $n/n_0(\Phi)$ для гамма-облучения. Для точки 2 с координатами $\Phi_e = 1,1 \cdot 10^{15}$ см⁻² и $n/n_0 = 0,40$ для электронного облучения соответствует точка 2' с координатами $\Phi_\gamma = 9,57 \cdot 10^{17}$ см⁻² и $n/n_0=0,40$, которая ложится на экспериментальную кривую (рис. 2а).

На рис. 3 изображены кривые изохронного отжига, отражающие долю неотожженных дефектов $f_n = (n_0 - n_{отж}) / (n_0 - n_{обл})$, где n_0 - концентрация носителей в необлученном материале, $n_{обл}$ - концентрация носителей заряда после облучения гамма-квантами или электронами с энергией 4 МэВ, $n_{отж}$ - концентрация носителей заряда после определенной температуры отжига, образцов, облученных гамма-квантами Co^{60} и электронами. Видно, что на кривой (1), отражающей отжиг облученного гамма-квантами кристалла наблюдается одна стадия отжига при температуре 160 – 230°C в отличие от

облученного электронами образца (2) для которого наблюдается две стадии отжига при температурах 160-230°C и 330-380°C. На первой стадии облученного гамма-квантами материала отжигается примерно 90% дефектов. В этом же температурном интервале отжига облученных электронами кристаллов отжигается

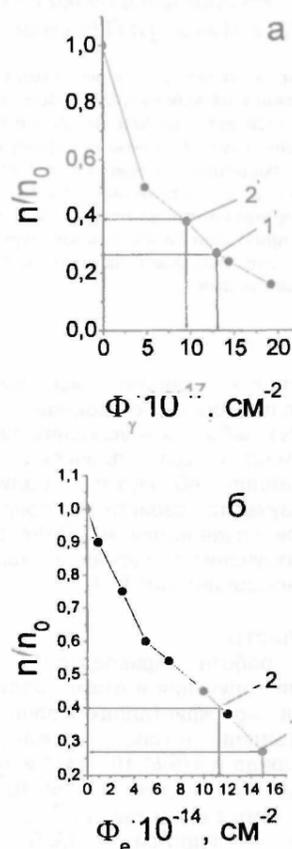


Рис. 2. Относительное изменение концентрации носителей заряда в зависимости от дозы гамма-квантов (а) и электронов (б)

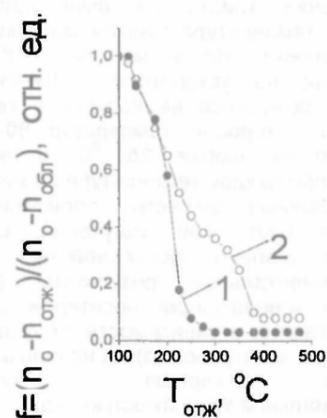


Рис. 3. Восстановление в процессе отжига концентрации носителей заряда в кристаллах, облученных гамма-квантами (1) и электронами (2)

примерно 60% дефектов, а на втором около 30%. Следует предположить, что отжигаемые на первой стадии дефекты являются собственными дефектами типа пар Френкеля в подрешетке мышьяка [6]. Наличие второй стадии отжига (330-360°C) при облучении GaAs электронами может свидетельствовать о том, что в кристалле имеются также и комплексные дефекты, которые могли образоваться при взаимодействии собственных дефектов с примесями и другими дефектами структуры как в процессе облучения кристалла электронами, так и в процессе отжига его после облучения. В облученном гамма-квантами материале образуются, по-видимому, преимущественно ионизованные атомы в узлах решетки и пары Френкеля.

Заключение

Отжиг радиационных дефектов, созданных облучением гамма-квантами в монокристаллах GaAs п-типа происходит в одну стадию при температуре 160 – 230 °С, в то время, как отжиг радиационных дефектов, созданных электронным облучением, проходит в две стадии при температурах, соответственно, 160 – 230 °С и 330 – 380°C. Таким образом, изохронный отжиг

материала, облученного гамма-квантами Co^{60} и электронами с энергией 4 МэВ показывает, что, несмотря на одинаковый результат воздействия радиационных дефектов, образовавшихся в процессе облучения эквивалентными дозами этих видов излучений, на электрические параметры (концентрация носителей заряда) исследуемых монокристаллов, природа данных дефектов различна.

Работа выполнялась при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Список литературы

1. Козлов В. А., Козловский В. В. // ФТП. – 2001. - т.5, вып.7. - С. 769 - 795.
2. Болтакс Б. И., Колотов М. Н., Скорятина Е. А. // Изв. высш. уч. заведений, физика.- 1983.- №10.- С. 56 - 66.
3. Кравченко А. Ф., Принц В.Я. // Изв. высш. уч. заведений. Физика.- 1980.- №1.- С. 52 - 63.
4. Коршунов Ф.П., Курилович Н.Ф., Прохоренко Т.А. // Перспективные материалы.- 2000.- №1.- С. 35 - 39.
5. Pons D., Bourgoin J.C. // J. Phys. C: Solid State Phys.- 1985.- V 18.- P 38-39.

THE ANNEALING OF UNALLOED GALLIUM ARSENIDE IRRADIATED WITH GAMMA-QUANTA Co^{60} AND WITH FAST ELECTRONS

F.P.Korschunov, N.F. Kurilovich, T.A. Prokhorenko
Institute of Solid State and Semiconductor Physics NAS of Belarus
P.Brovka, 17, Minsk 220072, tel.(017) (284-11-27)

It have been investigated the influence of irradiation with gamma-quanta Co^{60} and 4 MeV-electrons and following isochronous annealing on charge carriers concentration of unalloyed gallium arsenide monocrystals. Charge carriers concentration is decreasing exponentially when gamma-quanta and electrons dose is increasing. It have been received the coefficients K_n of commensurability for room temperature and also the relationship of K_{ne} and $K_{n\gamma}$ coefficients ($K_{ne} / K_{n\gamma}$) that is comparative effectiveness of gamma-quanta and electrons influence on charge carriers concentration when it is gamma-quanta or 4MeV-electrons irradiation. The rehabilitation of charge carriers concentration during of annealing process have only one stage and lower temperature of annealing in contrast to irradiated with electrons crystals where it take place the two stages of annealing. This fact indicates difference of radiation defects that are generated during the irradiation with gamma-quanta and electrons.