

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ, ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 50 Мэв

Г. Н. ЕРИЦЯН, Р. А. МЕЛКОНЯН

Как известно, при облучении быстрыми нейтронами в кремнии появляются сложные структурные повреждения типа разупорядоченных областей. В работе Ухина [1] на основе анализа литературных данных представлена модель образования этих областей. Сущность модели заключается в том, что в результате первичного акта передачи атому вещества достаточной энергии образуется сгусток из моновакансий и междузельных атомов.

В работах по электронному облучению с энергией ниже 10 Мэв кроме простых дефектов и дефектных комплексов разупорядоченные области в кремнии не наблюдались. В работе [2] было обнаружено, что преобладающие дефекты фотопроводимости во всех образцах кремния, облученных электронами при 45 + 50 Мэв, находятся на «энергетической полосе» в пределах от 1,5 до 4,0 мкм. Эти «энергетические полосы» не соответствуют единичным дефектам и не зависят от химической примеси.

В настоящей работе исследовались полосы инфракрасного поглощения кремния, облученного электронами с энергией 50 Мэв. Исследуемые образцы кремния *n*- и *p*-типов имели исходное удельное сопротивление 20 + 800 ом см. Определенная по интенсивности поглощения 9,0 мкм полоса концентрации кислорода составляла величину $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ для кремния, полученного зонной плавкой, и $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ для кремния, вытянутого из расплава. Исследование проводилось изучением спектра инфракрасного поглощения в интервале от 0,7 до 25 мкм с помощью инфракрасного спектрометра ИКС-14А. Облучение образцов проводилось при комнатной температуре на линейном ускорителе. Максимальная интегральная доза облучения составляла $1,4 \cdot 10^{18} \text{ эл/см}^2$.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В результате облучения в спектрах инфракрасного поглощения появилось несколько полос поглощения, которые связаны с радиационными дефектами. Наиболее интенсивными из них были полосы 1,8 мкм и 12 мкм, которые уже известны из работ [3, 4] соответственно как полосы дивакансий и А-центров (вакансия-кислород).

На рис. 1 показана зависимость коэффициента поглощения полос 1,8 мкм и 12 мкм от дозы облучения. Из рисунка видно, что в образцах скорость образования дивакансий сильно растет начиная с дозы $4 \cdot 10^{17} \text{ эл/см}^2$ и не зависит от типа кремния.

Что касается концентрации А-центров, которые наблюдаются только в вытянутых образцах, она растет при больших дозах. К сожалению, невозможно было при таких токах пучка облучать более большими дозами, что-

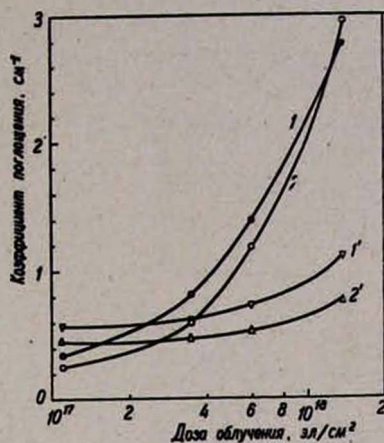


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения полосы 1,8 мкм (кривые 1 и 2) и 12 мкм (кривые 1' и 2') от дозы облучения ($E = 50$ Мэв); 1 (1')— p -тип кремния ($\rho = 20$ ом см), 2 (2') — n -тип кремния ($\rho = 100$ ом см).

бы получить насыщение концентрации этих комплексов, что наблюдается при облучении 2 Мэв нейтронами дозами порядка 10^{19} н/см². По этим дозовым зависимостям можно сказать, что преобладает образование дивакансий.

Относительно большую информацию дал 15 минутный изохронный отжиг этих полос поглощений. Как видно из рис. 2, концентрация комплекса вакансия-кислород (А-центр) в зависимости от температуры отжига в кремнии как n -типа, так и p -типа растет и достигает до максимального значения при температуре 250°C, после чего начинается резкий спад, который обусловлен отжигом комплекса.

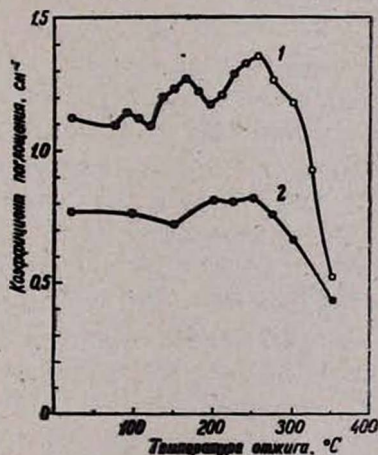


Рис. 2. 15-минутный изохронный отжиг А-центров (полоса 12 мкм) в образцах кремния, облученных электронами с энергией 50 Мэв дозой $1,4 \cdot 10^{18}$ эл/см²; 1 — p -тип кремния ($\rho = 20$ ом см), 2 — n -тип кремния ($\rho = 100$ ом см).

Если сопоставить эту кривую с аналогичной кривой в работе Вана [5], то можно сказать, что отжиг А-центра происходит почти одинаково, несмотря на то, что облучения разные. Рост концентрации А-центров в этой работе объяснялся разрушением областей разупорядочения, которые дают дополнительный вклад в концентрацию вакансий и их ассоциаций с кислородом.

При отжиге также наблюдается рост полосы 1,8 мкм, т. е. концентрации дивакансий. Как видно из рис. 3, этот рост имеет ступенчатый харак-

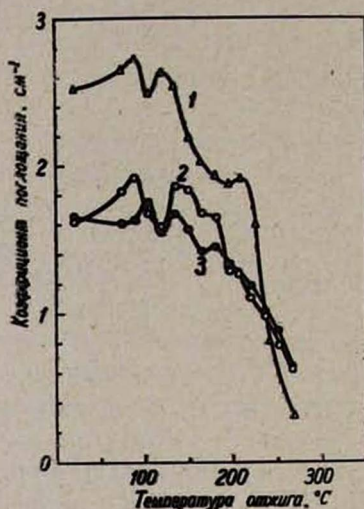


Рис. 3. 15-минутный изохронный отжиг дивакансий (полоса 1,8 мкм) в образцах кремния, облученных электронами с энергией 50 Мэв дозой $1,4 \cdot 10^{18}$ эл/см²; 1 — p-тип кремния ($\rho = 20 \text{ ом см}$), 2 — n-тип кремния ($\rho = 90 \text{ ом см}$), 3 — n-тип кремния ($\rho = 500 \text{ ом см}$).

тер. При температурах 105—110 $^{\circ}\text{C}$ во всех исследуемых образцах резко падает концентрация дивакансий, после чего снова растет и по ходу увеличения температуры отжига идет постепенный спад, хотя при некоторых температурах наблюдается небольшой рост. Этот комплекс полностью отжигается при температуре примерно 300 $^{\circ}\text{C}$. Рост указанных полос при отжиге можно объяснить тем, что при облучении электронами с энергией 50 Мэв в кристаллах образуются вакансионные скопления, частичный отжиг которых приводит к увеличению концентрации комплексов вакансия-кислород, вакансия-вакансия и других малозаметных комплексов.

Принимая модель разупорядоченных областей при нейтронном облучении, можно сказать, что высокоэнергетичные электроны тоже создают разупорядоченные области, оболочки которых являются комплексными дефектами типа А-центров.

Однако исходя из данных отжига дивакансий можно утверждать, что в этом случае в ядре разупорядоченных областей остаются устойчивые при комнатной температуре сгустки моновакансий, другими словами, существуют потенциальные барьеры для образования дивакансий, преодоление ко-

торых происходит при более высоких температурах, чем комнатная температура, а вокруг указанных сгустков имеется оболочка дивакансий. Существование таких потенциальных барьеров, вероятно, можно объяснить ступенчатым отжигом дивакансий.

Таким образом, можно сказать, что при облучении электронами с энергией 50 Мэв в монокристаллах кремния основными радиационными дефектами являются разупорядоченные области, как и при облучении нейтронами с энергией 2 Мэв.

Ереванский физический
институт

Поступила 15.VII.1973

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н. А. Ухин. ФТП, 6, 931 (1972).
2. A. H. Kalma, J. C. Corelli. Proceedings of the Santa Fe Conference on Radiation Effects in Semiconductors, October, 1967.
3. L. J. Cheng, J. C. Corelli, J. W. Corbett, G. D. Watkins. Phys. Rev., 152, 761 (1966).
4. J. W. Corbett, G. D. Watkins. Phys. Rev., 121, 1001 (1961).
5. R. E. Whan. J. Appl. Phys., 37, 3378 (1966).

ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ԿԼԱՆՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻ
ՄԻԱՔՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ, ՈՐՈՆՔ ՃԱՌԱԳԱՅԹՎԱԾ ԵՆ 50 ՄԷՎ
ԷՆԵՐԳԻԱ ՈՒՆԵՑՈՂ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐՈՎ

Հ. Ն. ԵՐԻՑՅԱՆ, Ռ. Ա. ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ

Ցույց է տրված, որ 50 ՄԷՎ էներգիայով օժտված էլեկտրոններով ճառագայթված սիլիցիումի միաբյուրեղում առկայի են դեֆեկտների առաջացման բնույթը հիմնականում համընկնում է 2 ՄԷՎ էներգիայով նեյտրոնների ազդեցությամբ առաջացած դեֆեկտների բնույթի հետ:

STUDY OF INFRARED ABSORPTION IN THE SILICON SINGLE-CRISTALS, IRRADIATED WITH 50 Mev ELECTPONS

G. N. YERITSYAN, R. A. MELKONYAN

In this paper we have shown that the radiation defects induced in silicon by 50 Mev electrons are generally the same in the nature as those in the case of 2 Mev neutrons bombardment.