

ОБ АНОМАЛЬНО ВЫСОКОМ РАССЕЙАНИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОМ КРЕМНИИ *n*-ТИПА

Л.С.Милевский А.А.Золотухин

Исследовано изменение подвижности электронов $\mu_n(T)$ в кремнии *n*-типа с концентрацией $n = 3 - 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ в зависимости от плотности дислокаций, введенных одноосным сжатием при 600°C . Резкое уменьшение $\mu_n(T)$ наблюдается в области температур $100 - 120^\circ\text{K}$ в образцах с плотностью дислокаций $N_g \geq 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$. Изменение рассеивающего действия дислокаций при старении и отжиге образцов подтверждает важную роль состояния атмосферы глубоких центров на дислокациях.

Известны работы [1 - 6], в которых исследовано влияние дислокаций на энергетический спектр германия и кремния *n*-типа и обнаружено акцепторное действие дислокаций. С целью сохранения типа проводимости после деформации высокоомных образцов, для получения энергии ионизации акцепторных дислокационных центров, авторы [1 - 6] исследовали кристалл с концентрацией электронов $n \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при плотности дислокаций $N_g = 10^6 - 10^7 \text{ см}^{-2}$, так как при плотности дислокаций $N_g > 10^8$ кристаллы *n*-типа переходят в *p*-тип. Поэтому исследования рассеивающего действия дислокаций нами проводились на образцах кремния с концентрацией электронов $n = 3 - 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, в которых при плотности дислокаций $\geq 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ концентрация носителей меняется незначительно. Для увеличения плотности дислокаций, образцы подвергались пластической деформации в течение $40 + 50 \text{ мин}$ одноосным сжатием вдоль направления [110] при температуре 600°C в вакууме. Внешняя поверхность образцов с размерами

$3 \times 3,5 \times 20 \text{ мм}^3$ перед деформацией шлифовалась порошком карбида кремния. Охлаждение от температуры деформации осуществлялось выключением безынерционного нагревателя и через 2 – 3 мин образец сбрасывался на плиту из нержавеющей стали. После удаления приповерхностного слоя, из деформированного кристалла вырезались два образца с размерами $1 \times 3 \times 10 \text{ мм}^3$ для измерений электропроводности и эффекта Холла. Измерения проводились компенсационным методом при токе $I = 1 \text{ ма}$ в магнитном поле $H = 10 \text{ кэ}$, холл-фактор принимался равным единице. Температурная зависимость и величина концентрации носителей тока в деформированных образцах сохранялись практически неизменными во всем диапазоне плотностей дислокаций от 10^7 до $2,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$. Плотность дислокаций после травления в хромовом травителе (1 ч. HF + 2 ч. 30-процентного раствора CrO_3) до размеров ямок меньше 1 мкм определялась путем усреднения по многим полям. с ошибкой $\pm 5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$.

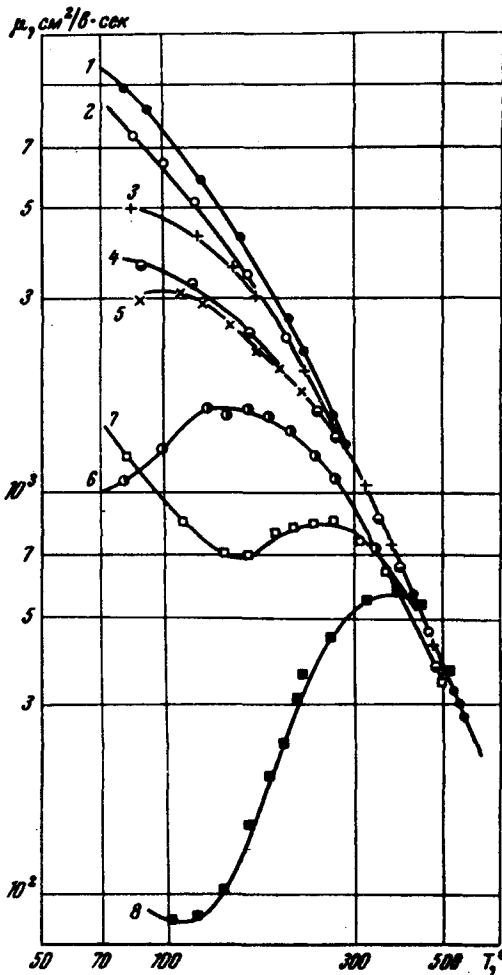


Рис. 1. Температурная зависимость подвижности электронов в контрольном 1 и деформированных 2 – 8 образцах с плотностью дислокации равной: 1 – 10^4 ; 2 – $3,5 \cdot 10^7$; 3 – $8 \cdot 10^7$; 4 – 10^8 ; 5 – $1,5 \cdot 10^8$; 6 – $2 \cdot 10^8$; 7 – $2,25 \cdot 10^8$; 8 – $2,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$

Температурная зависимость подвижности электронов $\mu_n(T)$ для различных плотностей дислокаций, показана на рис. 1, из которого видно,

что рассеяние резко увеличивается при $N_g \geq 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ в области температур $T \sim 100 + 150^\circ\text{К}$. Подвижность носителей в этой области имеет явно выраженный минимум, аналогичный обнаруженному в германии р-типа при 16°К и $N_g = 10^7 \text{ см}^{-2}$ [7].

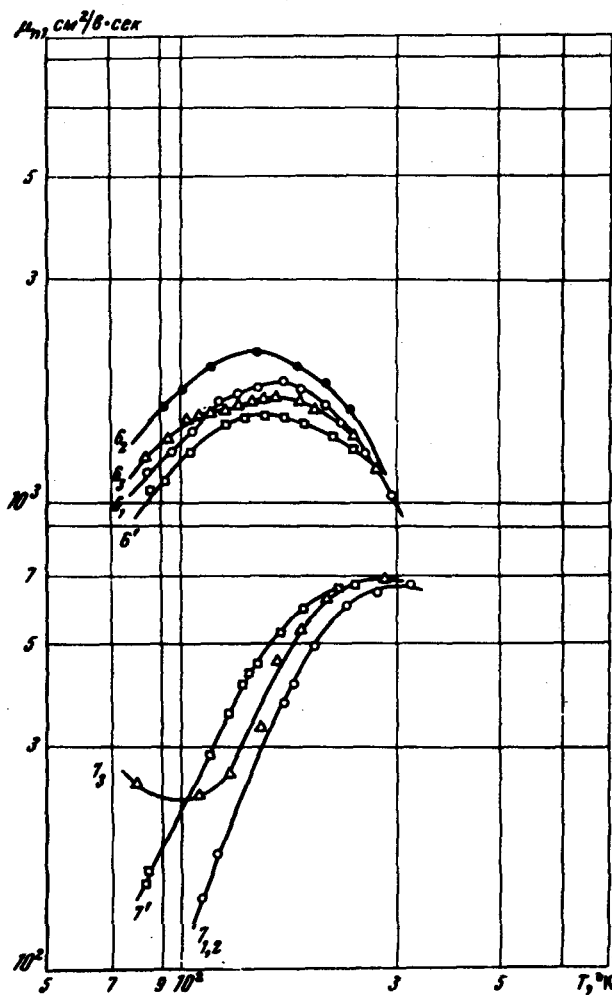


Рис. 2. Изменение $\mu_n(T)$ при естественном старении после деформации $6''$ и $7''$ ($T = 20^\circ\text{С}$, в течение 7 месяцев), после отжига при 200°С : 6_1 – 15 мин, 6_2 – 50 мин и $7_{1,2}$ – 30 + 20 мин. После отжига при 400°С 40 мин – кривые 6_3 и 7_3

Температура, при которой наблюдается минимум подвижности коррелирует с температурой заполнения электронами глубоких центров обнаруженных в деформированных образцах [6]. Такое огромное рассеяние электронов могли бы обеспечить заряженные примесные центры при концентрациях $\geq 10^{17} \text{ см}^{-3}$. В данном случае рассеяние происходит на заряженных цилиндрических областях, окружающих дислокации.

Характер $\mu_n(T)$ резко изменяется по мере увеличения плотности дислокаций выше $\geq 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ (кривые 6 и 7, рис. 1). Естественное старение в течение семи месяцев при комнатной температуре не изменило зависимости $\mu_n(T)$ в образцах типа 5 + 6 (кривая 6'), в то время как в образцах типа 7 происходит дальнейшее резкое увеличение рассеяния в низкотемпературной области (кривая 7'). Различное поведение образцов 6 и 7 также проявляется после низкотемпературного отжига при 200°C в течение 15 ÷ 50 мин. В образце 6' начинается увеличение подвижности после 15 мин отжига, кривая 6₁, и далее после 50 мин отжига, кривая 6₂. В образце типа 7' после отжига при 200°C (20 ÷ 30 мин) продолжается и заканчивается процесс дальнейшего уменьшения подвижности, кривая 7_{1,2}, т. е. естественное старение при комнатной температуре не завершилось за 7 месяцев. И наконец, отжиг при 400°C (40 мин) приводит к изменениям, различным в образцах 6 и 7 (кривые 6₃ и 7₃). Увеличение рассеивающего действия дислокаций при старении, по-видимому, связано с возрастанием концентрации комплексов-центров прилипания для электронов в атмосфере Коттрелла, которые образуются при охлаждении деформированных образцов и старении, но разрушаются при 200°C в образцах типа 6 и при 400°C в образцах типа 7. В указанных процессах могут принимать участие А и Е центры и переходы примесных атомов внедрения на дислокации, а также перераспределение их между узлами, междоузлиями и вторыми фазами.

Описанное явление не может быть понято в рамках существующих представлений и теорий и требует дальнейшего исследования.

Институт металлургии
им. А.А.Байкова

Поступила в редакцию
11 декабря 1973 г.

После переработки
6 марта 1974 г.

Литература

- [1] G.L.Pearson, W.T.Read, F.J.Moyn. Phys. Rev., 93, 666, 1954.
- [2] R.A.Logan, G.L.Pearson, D.Kleinman. J.Appl. Phys., 30, 135, 1963.
- [3] W.Shroter. Phys. Stat. Sol., 21, 211, 1967.
- [4] Ю.А.Осипьян, С.А.Шевченко. ЖЭТФ, 65, 198, 1973.
- [5] В.И.Никитенко, А.И.Полянский. Материалы Всесоюзного совещания по дефектам структуры в полупроводниках, часть 1. Новосибирск, 1970 г.
- [6] А.А.Золотухин, Л.С.Милевский, И.Л.Смольский, Ю.А.Сидоров. ФТН. 6, 10, 1961, 1972.
- [7] Ю.А.Осипьян, С.А.Шевченко. Письма в ЖЭТФ, 18, 256, 1973.