

Рисунок 1. Зависимость частоты продольных волн в упруго-пластической среде от отношения амплитуд τ : 1 – $\omega_0(\tau)$; 2 – $\omega_1(\tau)$

Функция $\omega_0(\tau)$ монотонно возрастает при $\tau > 0$. Функция $\omega_1(\tau)$ имеет минимум, в котором частота достигает значения $\omega_{\min} = 0$, что соответствует стоячим волнам. Длина стоячих волн зависит от значения τ .

Таким образом, получены следующие типы решений: 1 – непрерывно возрастающие (убывающие) по амплитуде волны, реально не наблюдаемые; 2 – незатухающие волны деформации, в дисперсионные соотношения которых входят упругие постоянные среды, плотность среды, отношение амплитуд колебаний вынуждающей силы и смещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Bogatov N.M. Gauge field theory of dislocations formation by thermal stresses // Phys. Stat. Sol. (b). 2001. V. 228. №3 P.651–661.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТЖИГА ЛИТИЙ СОДЕРЖАЩЕГО КРЕМНИЯ N-ТИПА ПРОВОДИМОСТИ, ОБЛУЧЕННОГО ПОТОКОМ ЭЛЕКТРОНОВ

Богатов Н.М., Коваленко М.С.

Кубанский государственный университет

Полупроводниковые приборы используются в условиях повышенного воздействия ионизирующих излучений. Радиационные дефекты являются одной из причин деградации изделий полупроводниковой электроники. Поэтому в отечественной и зарубежной литературе значительное внимание уделяется исследованию радиационной стойкости полупроводниковых материалов и приборов. Кремний является наиболее широко используемым и изученным материалом полупроводниковой электроники. Возрастающие требования к радиационной стойкости стимулируют создание новых конструкций, технологий изготовления и восстановления приборов из этого материала.

Атомы лития, имея высокую подвижность в решетке кремния, взаимодействуют с радиационными дефектами и снижают коэффициенты повреждения. В работе моделируется процесс изменения concentra-

ции вторичных радиационных дефектов (ВРД) в течение изотемпературного отжига кремния n-типа, легированного литием. Кинетика дефектообразования включает 2 этапа. На первом этапе радиационные дефекты образуются под действием электронов с энергией 3 Мэв и интенсивностью потока $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Время облучения – 100 сек., температура – 330 К. На втором этапе ионизирующее излучение отсутствует, проводится отжиг при температуре $T_{\text{от}} = 330 \text{ К}$, малоподвижные комплексы LiO распадаются, а свободные атомы Li пассивируют вторичные радиационные дефекты. Их концентрация в процессе отжига уменьшается до нуля, после чего все величины принимают стационарные значения. Временная зависимость концентрации ВРД рассчитывалась на основе решения системы уравнений квазихимических реакций в кремнии, выращенном методом Чохральского [1, 2].

Свойства материала определяются начальной концентрацией основных примесей: атомов фосфора $N_{\text{P(S)}}^0$, лития N_{Li}^0 , а также частично компенсирующего их бора $N_{\text{B(S)}}^0$. Начальные концентрации кислорода и углерода соответствуют кремнию, выращенному методом Чохральского, $N_{\text{O(I)}}^0 = 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $N_{\text{C(S)}}^0 = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Индексами "i" и "s" обозначим атомы внедрения и замещения, соответственно.

Расчеты для второго этапа, выполненные при различных концентрациях основных примесей и температурах отжига, позволяют выделить общие тенденции изменения концентрации ВРД в литий содержащем кремнии n-типа, проиллюстрированные зависимостями на рис. 1.

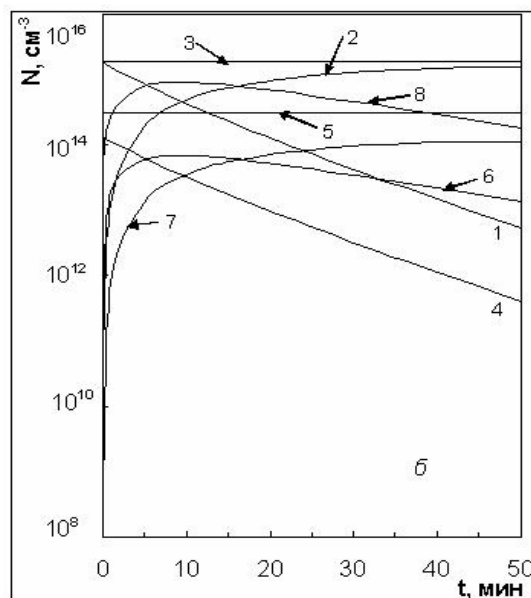
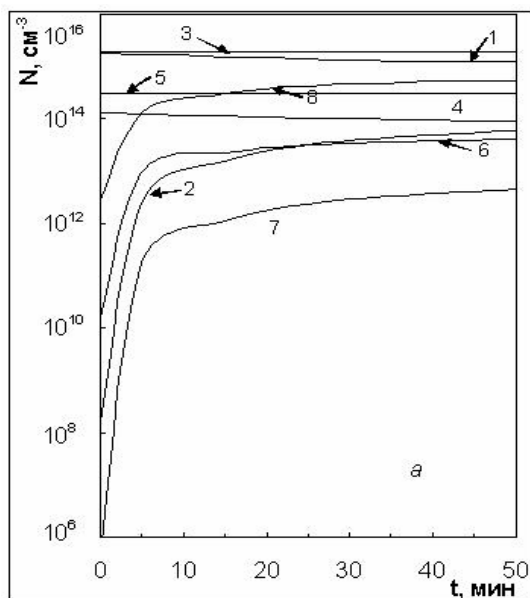
В случае, представленном на рис. 1, $T_{\text{от}} = 373 \text{ К}$. По оси абсцисс отложено время отжига, а по оси ординат – концентрация ВРД. Значения концентраций ВРД при $t=0$ получены в результате моделирования первого этапа. Концентрация ВРД, не взаимодействующих с атомами Li, не изменяется, например, К-центров и комплексов SiB (линии 3 и 5 на рис. 1). Концентрации А-центров (линия 1) и дивакансий (линия 4) монотонно уменьшаются, достигая постоянно-

го значения при $N_{Li}=0$. На рис. 1,б скорость убывания N_A и N_W больше, а конечное значение меньше, чем на рис. 1,а, так как эти величины зависят от начальной концентрации лития. Увеличивая N_{Li}^0 , можно повысить эффективность отжига.

Комплексы LiA (линия 8) и LiW (линия 6) являются промежуточными при формировании комплексов Li_2A и Li_2W , соответственно. Концентрации устойчивых комплексов Li_2A (линия 2) и Li_2W (линия 7) монотонно возрастают, стремясь к постоянным значениям при $N_{Li}=0$. Эти значения выше для образцов с большим N_{Li}^0 , однако не превышают концентраций исходных ВРД, образовавшихся на первом этапе. Промежуточные комплексы образуются из ВРД, способных присоединять более одного атома Li. При

достаточно высоком значении N_{Li}^0 (рис. 1,б) концентрации промежуточных комплексов сначала увеличиваются, достигая максимума, а затем уменьшаются вследствие присоединения второго атома Li. В случае, представленном на рис. 1,а, зависимости 6 и 8 не достигают максимального значения, так как концентрации Li не достаточно для смещения баланса в сторону образования комплексов Li_2W и Li_2A .

При увеличении температуры отжига на 50 К рассмотренные закономерности проявляются за меньший промежуток времени, а при уменьшении – за больший. Таким образом, выбирая концентрацию лития и режим отжига в соответствии с условиями интенсивного облучения, можно существенно снизить концентрацию рекомбинационно и электрически активных ВРД.



$$a - N_{P(S)}^0 = 5,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}, N_{B(S)}^0 = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}, N_{Li}^0 = 10^{15} \text{ см}^{-3};$$

$$b - N_{P(S)}^0 = 5,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}, N_{B(S)}^0 = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}, N_{Li}^0 = 10^{16} \text{ см}^{-3};$$

1 – концентрация А-центров; 2 – концентрация комплексов Li_2A ; 3 – концентрация К-центров; 4 – концентрация дивакансий W; 5 – концентрация комплексов SiB; 6 – концентрация комплексов LiW; 7 – концентрация комплексов Li_2W ; 8 – концентрация комплексов LiA

Рисунок 1. Зависимость концентрации вторичных радиационных дефектов от времени отжига

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатов Н.М. Радиационные дефекты в кремнии, выращенном методом Чохральского. // Поверхность. 1999. №3. С. 72 - 78.
2. Богатов Н.М. Радиационные дефекты в кремнии, выращенном методом Чохральского, легированном литием. // Поверхность. 1999. № 8. С. 66 - 69.

ЛИНЕЙНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЫ В ВЕСОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ СОБОЛЕВА

Корытов И.В.

Восточно-Сибирский государственный
технологический университет,
Улан-Удэ

Оценка качества формулы приближенного интегрирования при функционально-аналитическом подходе предполагает использование критерия минимальности нормы функционала погрешности в соответствующем пространстве. Нормы функционалов определяются через экстремальные функции, которые являются обобщенными решениями некоторых дифференциальных уравнений в частных производных.