

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

Н.М. Богатов, М.С. Коваленко  
Кубанский госуниверситет

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 концентрации 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  $T_{от} > 330 \text{ К}$ , 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  $N_{P(S)}^0$ , лития  $N_{Li}^0$ , а также частично компенсирующего их бора  $N_{B(S)}^0$ . Начальные концентрации кислорода и углерода соответствуют кремнию, выращенному методом Чохральского,  $N_{O(O)}^0 = 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_{C(S)}^0 = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . 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,  $T_{от} = 373 \text{ К}$ . 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 постоянного 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.

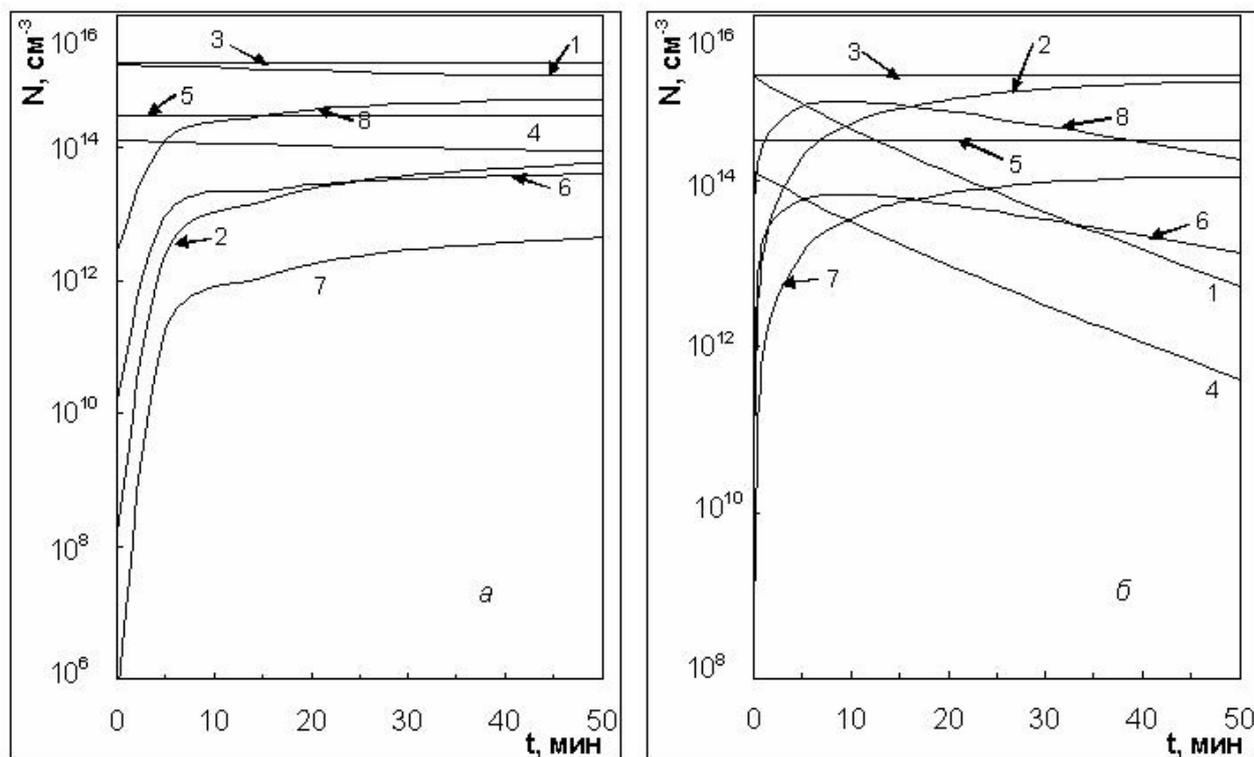


Рис. 1. Зависимость концентрации вторичных радиационных дефектов от времени отжига:

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

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

- 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

#### 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.