

シリコン結晶中のサーマルドナー形成から解析した酸素の拡散係数 Oxygen Diffusivity Analyzed Based on Thermal Donor Formation in Silicon Crystals

○鳥越和尚, 梅野繁, 小野敏昭

SUMCO CORPORATION

E-mail: ktorigoe@sumcosi.com

1. はじめに

シリコン (Si) 結晶中では 400~500 °C 程度の熱処理でサーマルドナー (TD) が形成されることが知られている。TD は酸素のクラスターであるため、その形成は酸素の拡散に支配される。しかし、TD の形成速度を説明するには酸素原子の拡散速度では不十分であるため、酸素ダイマーなどの高速拡散種が存在すると考えられている。一方で、TD の形成は Si 結晶中の点欠陥である空孔によって抑制され、格子間 Si で促進されることが報告されており[1-3]、酸素と格子間 Si の複合体による高速拡散が示唆されているが、その詳細は明らかになっていない。本研究では、様々な酸素濃度の Si ウェーハに TD 形成熱処理を行い、その形成速度を解析することで高速拡散種としての酸素の拡散係数を導出した。

2. 実験方法

酸素濃度 $11 \times 10^{17} \sim 22 \times 10^{17}$ atoms/cm³ (Old ASTM) の Si ウェーハに 650 °C で 30 分のドナーキラー (DK) 熱処理を行った後、TD 形成のために 350~500°C の各温度で 4~80 時間の熱処理を行った。熱処理前後の抵抗率を 4 探針法で測定し、TD の密度の増加を求めた。

3. 結果

Fig.1 のプロットは 350 °C~500 °C の各温度での TD 形成速度の酸素濃度依存性を示す。一般的に知られているように、酸素濃度が高いほど形成速度は大きく、450 °C 程度で最大となる。TD の形成を解析するために、格子間酸素原子 O_i の拡散[4]、および、酸素ダイマー O_2 の拡散[5]によって酸素クラスター O_n が形成される反応 ($O_{n-1} + O_i \rightleftharpoons O_n$, $O_{n-2} + O_2 \rightarrow O_n$) を考えた[3,6]。ここでは $n \geq 4$ の酸素クラスターがドナー化するとした。Fig.1 に示すように、TD 形成速度の計算結果は 500 °C と 450 °C の実験結果を良く再現するが、より低温の 400 °C と 350 °C では過小見積もりする。これは、低温では酸素ダイマー以外にも酸素の高速拡散種が存在することを示唆する。そこで、低温の形成速度を再現するように酸素原子の実効拡散係数を求めた結果を Fig.2 のプロットで示す。実効拡散係数は通常の酸素原子の拡散係数 (破線) よりも大きく、活性化エネルギーは 1.0 eV である。その値は酸素ダイマー (点線) の 1.5 eV [5] よりも低く、格子間 Si の拡散障壁 0.9 eV [7] と同等である。450 °C 未満の低温では、点欠陥に匹敵する高速拡散種が酸素の拡散に寄与していることが示唆される。

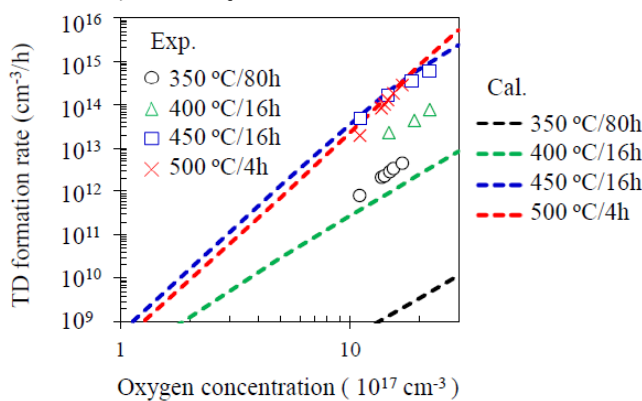


Fig. 1 Dependence of TD formation rate on oxygen concentration.

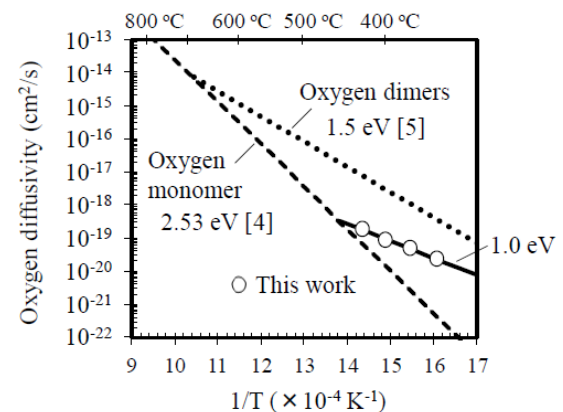


Fig. 2 Oxygen diffusivity as a function of temperature.

参考文献

- [1] M. Tajima, et al., Appl. Phys. Lett., 65 (1994) 222. [2] V. V. Voronkov, et al., Solid State Phenom., 131-133 (2008) 387. [3] 鳥越和尚 他, 2016 年秋季応用物理学会, 13p-B8-4. [4] J. C. Mikkelsen, Jr., Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 59 (1986) 19. [5] A. Giannattasio, J. Electrochem. Soc., 152 (2005) G460. [6] S. A. McQuaid, et al., J. Appl. Phys., 77 (1995) 1427. [7] K. Nakamura, et al., Solid State Phenomena, 82-84 (2002) 25.