

パワーデバイス用 Si 結晶中のライフタイム制御欠陥に与える 炭素・酸素不純物の影響

Influence of Carbon and Oxygen Impurities on the Bulk Lifetime-Control Defects in Silicon Crystals for Power Device Application

岡山県立大学情報工学部¹, 千葉工業大学工学部²

○(M1) 土屋 大輝¹, 末岡 浩治¹, 山本 秀和²

Okayama Prefectural University¹, Chiba Institute of Technology²

○Daiki Tsuchiya¹, Koji Sueoka¹, and Hidekazu Yamamoto²

E-mail: tsuchiya.opu@gmail.com

パワーデバイスである IGBT や pin ダイオードなどのバイポーラデバイスにおいて、ターンオフ時にリン (P) ドープ n-Si 層に蓄積した少数キャリアによりテール電流が流れ、スイッチング特性が劣化する。そのため、電子線照射により再結合中心を導入してライフタイム制御を行うデバイスがある。このキャリア・ライフタイム制御欠陥において、通電動作により構造が変化し、ライフタイムが延びてしまうことが問題となっている。しかしながら、そのメカニズムは不明である。なお、キャリア・ライフタイム制御欠陥は $V-V$ (原子空孔対) や $V-P$ (空孔リン対) のような深い準位の欠陥と考えられている。これらに、Czochralski 法で育成した Si 結晶中に存在している炭素 (C) が格子間 Si 原子 I と反応してできる格子間炭素 C_i 、さらに炭素と酸素の複合体である C_i-O_i (格子間炭素-格子間酸素)、炭素の複合体である C_i-C_s (格子間炭素-置換炭素) などが悪影響を与えると考えられている。^[1]

本研究では、 $V-V$ 、 $V-P$ と C_i 、 O_i 、 C_i-O_i 、 C_i-C_s の相互作用による構造変化の過程に注目した第一原理計算を行った。Si 64 原子モデルの各原子配置における不純物間の結合エネルギーを計算することで、安定な複合体構造を探索することを目的とした。

各反応において複合体が最安定となるときの結合エネルギーを図 1 に示す。ゲッターリングの指標となる Fe と B の結合エネルギーが 0.68eV (図中の横黒線) であることから、いずれも高い結合エネルギーを持つことが分かる。特に、 $V-V$ 、 $V-P$ と C_i 、 C_i-O_i との反応は結合エネルギーが大きい。なお、これらの反応では 1 個の V と C_i が反応することで消滅したが、例えば、 $V-V$ と C_i-O_i の反応では図 2(a) に示すように $V-C_s+O_i$ の構造となった。一方で、 O_i 、 C_i-C_s との反応では、例えば図 2(b) に示す $V-V$ と C_i-C_s の反応における最安定構造のように、 $V-V$ あるいは $V-P$ の構造はそのまま維持された。これらの結果から、 C_i 、 C_i-O_i が $V-V$ 、 $V-P$ に作用して単独の V 、 P へ構造変化することにより、ライフタイム制御性に影響を及ぼすと考えられる。

当日は各反応における準安定構造やその他の安定配置についても報告する。

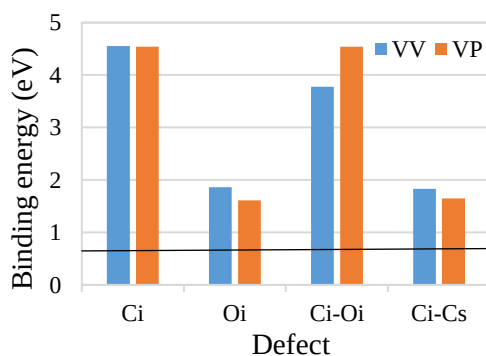


Fig. 1 Binding energy of most stable structure.

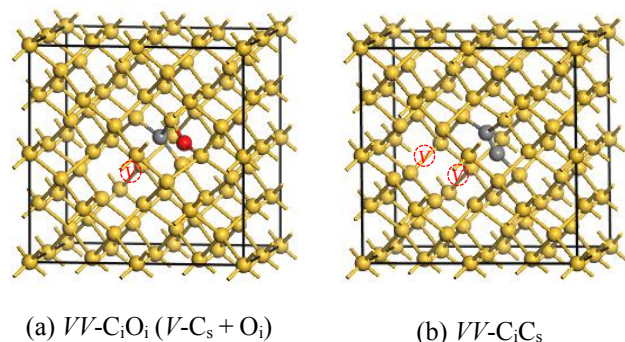


Fig. 2 Most stable structure of $VV-C_iO_i$ and $VV-C_iC_s$
(Gray / red sphere indicates C / O atom)

参考文献

- [1] 佐俣秀一, 江里口和隆, 三次伯, パワーデバイス用シリコンおよび関連半導体材料に関する研究会 講演概要集 (2018) pp21-26.