



Title	Hyperfine Interactions of Short-Lived $^{12}\text{B}$ in Si Crystal
Author(s)	Izumikawa, Takuji
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3155539">https://doi.org/10.11501/3155539</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	いづみ かわ たく じ 泉 川 卓 司
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 8 6 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 11 年 6 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科 物理学専攻
学 位 論 文 名	Hyperfine Interactions of Short-Lived $^{12}\text{B}$ in Si Crystal (シリコン中の短寿命核 $^{12}\text{B}$ の超微細相互作用)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 南園 忠則 (副査) 助教授 下田 正 助教授 松多 健策 教 授 大山 忠司 教 授 赤井 久純

## 論 文 内 容 の 要 旨

偏極した短寿命  $\beta$  放射性核  $^{12}\text{B}$  を用いた  $\beta$ -NMR 法により、シリコン結晶中に植え込まれたホウ素の格子位置について研究を行った。

ホウ素原子は P 型半導体シリコンに対する典型的な添加不純物であるにもかかわらず、その植え込み位置について、シリコンの置換位置及び  $\langle 111 \rangle$  軸対称性を持つ位置の 2 つ以外ほとんど知られていなかった。また、それぞれの占有率についても、確固とした結果は得られていなかった。本研究は、シリコン中におけるホウ素の植え込み位置の占有率の温度依存性の測定を通じて、シリコン中でのホウ素の振る舞いを理解することを目的として行われた。

本研究によって、これまで知られていた置換位置のホウ素(以下、Bs と呼ぶ)、 $\langle 111 \rangle$  軸対称性を持つ位置に位置するホウ素 (Bns) に加えて、新しくラーモア周波数近傍に広がった NMR の共鳴を発見した (Bx)。これは、 $\beta$ -NMR の一手法である  $\beta$ -NQR 法を用いることによって初めて可能となった測定である。本実験により全ての植え込んだホウ素が  $\beta$ -NMR 法により検出されたことになり、ホウ素の植え込み位置は Bs、Bns、Bx の 3 種類であることが明らかになった。

これらの 3 つの植え込み位置に対するホウ素の占有率を 100 K から 800 K の温度範囲で測定した。その結果、次の 2 つの特徴的な振る舞いが明らかにされた。(1) 100 K から 260 K では、約 35% のホウ素が Bns として観測されるが、それ以上の温度で突然検出できなくなる。(2) Bs と Bx の占有率の和は、100 K から 450 K で一定だが (約 65%)、450 K 以上で増加し約 550 K で全てのホウ素が Bs または Bx に位置するようになる。

260 K における Bns の占有率の急激な減少は、等価な位置間の Bns 原子の熱的な跳躍運動に伴う電場勾配の揺動によって引き起こされる速いスピン-格子緩和によるものであることが分かった。理論的に予言されている Bns の原子配位である置換位置ホウ素-格子間位置シリコン対 (B-Si) 模型を仮定し、原子の跳躍頻度を求めた。同様に、450 K 以上における核偏極の回復は Bs-Sii 対の解離としてよく理解できた。以上のように、核偏極の減少と回復は原子の跳躍と格子欠陥の解離として無撞着に理解された。また、Bns 位置における電場勾配の値が、 $(1.14 \pm 0.04) \times 10^{17} \text{ V/cm}^2$  と精度よく求められた。

Bx については、共鳴の特徴から、静的な電気四重極相作用によりその広い共鳴を示すものであることが分かった。このことは、Bx は置換位置に位置するホウ素が、空孔などの欠陥がつくる小さな電気四重極相互作用を受けていることを示唆している。

以上のように、本研究によって植え込まれたホウ素の格子位置及びその占有率の温度依存性、さらに原子の運動が明らかになり、植え込み後のホウ素のアニーリング機構を理解することができた。

## 論文審査の結果の要旨

Si 結晶に植え込んだ短寿命  $\beta$  放射核  $^{12}\text{B}$  の  $\beta$ -NQR を観測して、硼素原子が格子置換位置又は B-Si 結合 ( $\langle 111 \rangle$  軸対称) を持つ格子間隙位置に入ることが明らかにした。NQR シグナルの温度依存性から B-Si 対の方向揺動と、解離の機構を定量的に解明して、植え込みに伴う Si(B) 結晶のアニーリング機構を明らかにする事に著しく功績があるので、博士 (理学) の学位論文として充分価値あるものと認める。