

# イオン打ち込み Si 中の電子正孔プラズマ発光

近藤佑亮、中田博保

大阪教育大教育学部教養学科

## Photoluminescence in ion-implanted Si

Y.Kondoh and H.Nakata

Department of Art and Sciences, Faculty of Education Osaka Kyoiku University

We observed photoluminescence in P or B ion-implanted Si in the temperature range from 4 to 300K. Emission peaks were observed around 1.10eV at 4K in both samples. These peaks shifted to the low energy side with increasing temperature. Photoluminescence intensity depends on excitation intensity superlinearly at 300K.

### 1. はじめに

Si のような間接遷移型半導体では遷移確率が光学遷移確率とフォノン遷移確率の積で与えられる。つまり遷移確率が光学遷移確率のみに依存する直接遷移型半導体と比較すると、Si は遷移確率が小さいので発光素子としては適さない。しかし、安価で安定な Si を発光デバイスに用いることが模索されており、現在までに Prins 等によってエレクトロルミネッセンスが常温で観測され、[1]松原等と石橋等によってフォトルミネッセンスが常温で観測された。[1,2]それらの発光起源について調べ、解明することによって発光デバイスとしての研究が更に発展していくと考えられる。本研究では、イオン打ち込み Si の発光起源を調べるために様々な温度における発光強度スペクトルの測定及びピーク位置の変化の測定や、常温における励起強度変化における発光強度変化の測定などを行った。

### 2. 試料と実験方法

試料として図 1 のようなイオン打ち込みにより Si 基板に B( $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ) をドーピングした P 型半導体と P( $9.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) をドーピングした N 型半導体を用いた。ただし N 型半導体の Si 基板には B イオン ( $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ) が、P 型半導体の Si 基板には P イオン ( $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ) がドーピングされており、どちらも p-n 接合をしていることになる。

ヘリウム冷凍機で 3K から常温までのフォトルミネッセンスの温度変化を測定した。光源には Ar レーザー (出力 80mW) を用

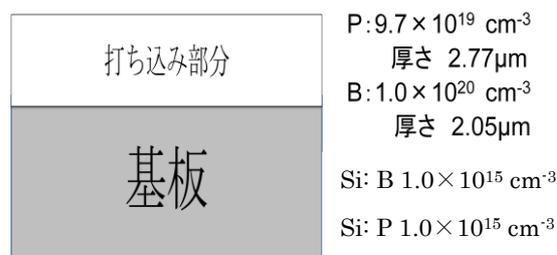


図 1. イオン打ち込み Si の構造

いその光をレンズで集光し試料にあてている、検出器には Ge pin フォトダイオードを用いて、分光器により発光スペクトルの測定を行った。フォトルミネッセンスの温度変化、室温状態における励起強度変化における発光強度の励起強度依存性を調べた。

### 3. 実験結果と考察

図2はPイオン打ち込みSiの異なる温度4K,100K,180Kにおけるフォトルミネッセンスのスペクトル、同様に図3はBイオン打ち込みSiのフォトルミネッセンスのスペクトルをそれぞれ示している。

Pイオン打ち込みSi、Bイオン打ち込みSi共に4Kにおいては1.10eV付近に発光ピークが観測され、温度が上がっていくと、

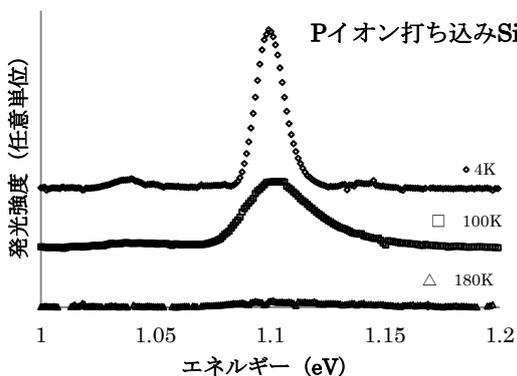


図2.Pイオン打ち込みSiの異なる温度でのフォトルミネッセンス

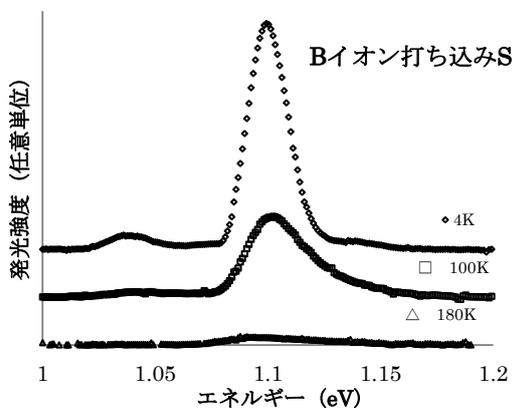


図3.Bイオン打ち込みSiの異なる温度でのフォトルミネッセンス

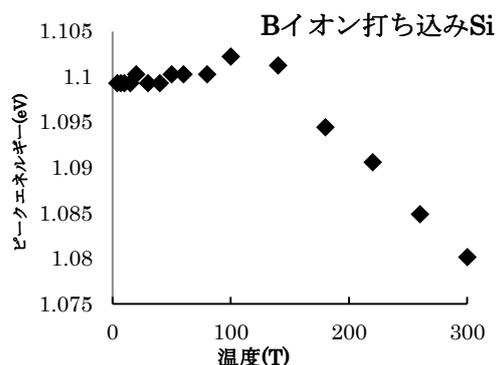


図4(a). ピークエネルギーの温度変化依存性

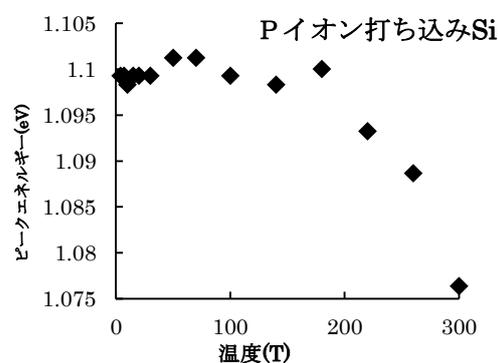


図4(b). ピークエネルギーの温度変化依存性

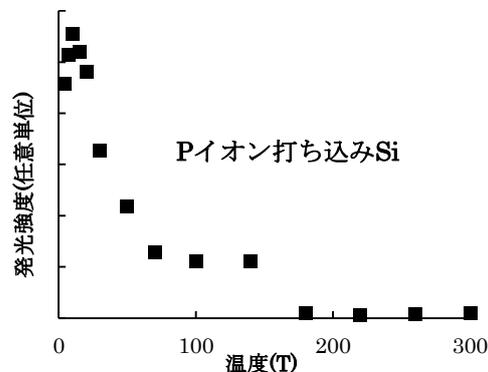


図5(a). 発光強度の温度依存性

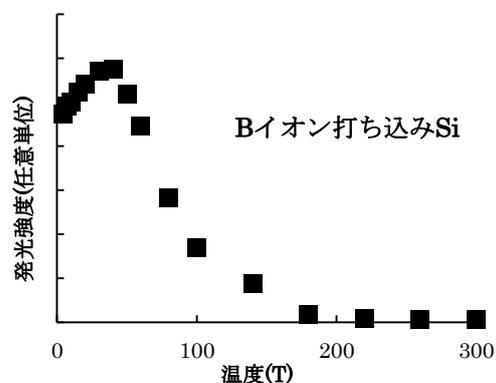


図5(b). 発光強度の温度依存性

発光強度が下がってくるのと同時に発光ピークが図 4 のように低エネルギー側にシフトしていった。しかし、4K から 300K まで細かい変化を測定してみると、図 5 のように P イオン打ち込み Si は 10K まで、B イオン打ち込み Si は 40K まで、それぞれ発光強度が上がっていき、そこから下がっていていることがわかった。

また、室温状態において P・B イオン打ち込み Si それぞれの高濃度・低濃度の室温でのフォトルミネッセンスを測定したところ、図 6 のような発光が観測された。また、レーザーをフィルターに通すことで、励起強度を変化させていったところ、図 7 のような 2 次関数に近似するような曲線が得られた。しかし、高濃度 B イオン打ち込み Si

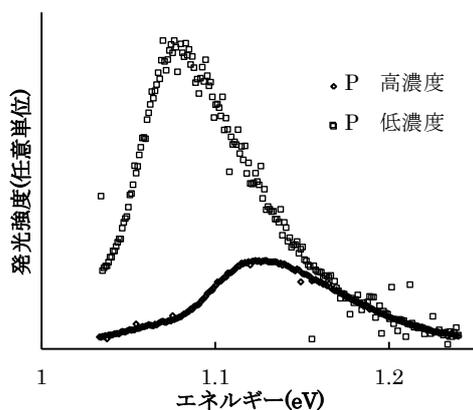


図 6(a).P イオン打ち込み Si の室温でのフォトルミネッセンス

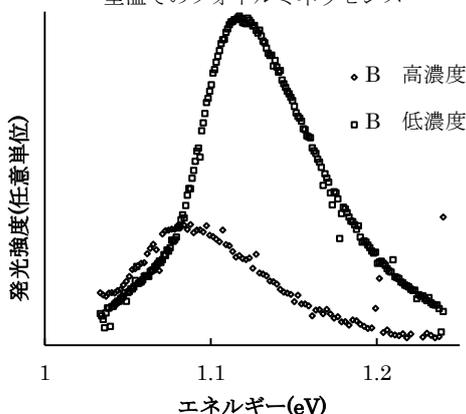


図 6(b).B イオン打ち込み Si の室温でのフォトルミネッセンス

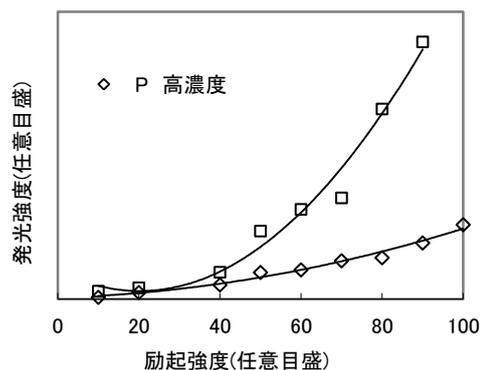


図 7(a).P イオン打ち込み Si の発光強度の励起強度依存性

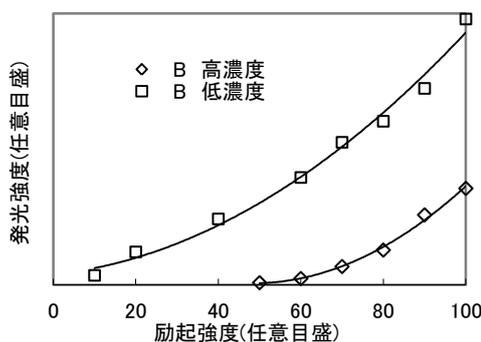


図 7(b).B イオン打ち込み Si の発光強度の励起強度依存性

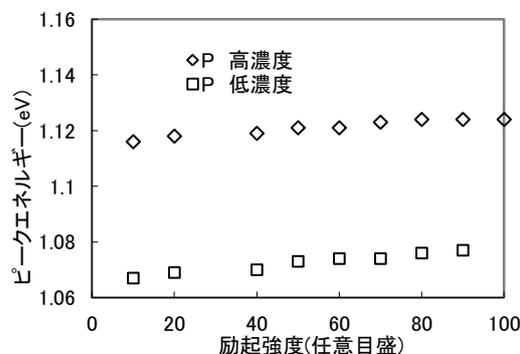


図 8(a).P イオン打ち込み Si のピークエネルギーの励起強度依存性

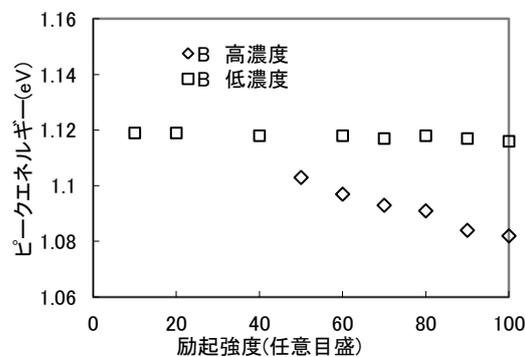


図 8(b).B イオン打ち込み Si のピークエネルギーの励起強度依存性

についてはある一定の励起強度から急に発光が観測された。そして、本来 p-n 接合面における自由励起子の再結合による発光のピークエネルギーは図 8(a)のように励起強度が上昇することで高エネルギー側にシフトしていくが、B イオン打ち込み Si においては図 8(b)のように励起強度が上がることで低エネルギー側にシフトしていった。

イオン打ち込み型のシリコンが発光素子としての働きをもつようになるとき、常温発光の原因が自由励起子の再結合であると考えられている、しかし Si 中の励起子はクーロン引力によって束縛しあうが、その束縛エネルギーは 14meV ととても小さく、これは室温では安定できないことを表しており、300K 前後である室温では安定しない、つまり、上記したように発光プロセス過程として生成されるはずの自由励起子が存在できず、理論上では今回観測されたような常温での発光は不可能ということになってしまう。しかし、実際の実験結果では発光は観測されており、この矛盾点について以前は、発光起源は自由励起子がエントロピーの作用によって安定し、その結果室温でも存在できるようになっているという考えをもって実験を行っていたが、今回観測された実験結果により自由励起子による尖った発光ピークとは異なり、発光ピークの幅が広く、自由励起子より低エネルギー側に発光ピークが出ているものが観測されたことから、レーザーがイオン打ち込み Si に照射されることで、p-n 接合面に励起子が多数生成され、励起子がある一定の密度を超えると、電子正孔プラズマが発生することによって、その電子正孔プラズマが再結合することによって発光が起こっている可能

性が高いと考えられた。

#### 4. まとめ

本研究では、B イオン打ち込み Si、P イオン打ち込み Si の二種類を対象として、極低温から常温までの温度変化による発光スペクトルの変化を調べるとともに、常温で発光強度の励起強度依存性の測定を行った。その結果、双方に共通して観測された 1.10eV 付近の発光ピークは温度が上昇することで、ピーク位置が低エネルギー側にシフトしていくことが観測され、常温においての励起強度に対して、発光強度が二次関数に近似できたことから、双方の発光起源は同じものであり、その発光起源は、発光スペクトルが自由励起子による尖ったものとは異なりなだらかなピークを描き、その発光スペクトルが電子正孔プラズマによるものと類似しているため、電子正孔プラズマが生成され、それが再結合することによる可能性が高い。

#### 5. 参考文献

- [1] I. Matsubara, S. Sasahara, T. Mishima, Y. Ishibashi, T. Kobayashi and J. Nakahara Phys. Stat. Sol (b) 243 1893(2006).
- [2] Y. Ishibashi, T. Kobayashi, A.D.Prins, J. Nakahara, M.A. Lourenco, R. M. Gwilliam and K.P. Homewood, Phys.stat. Sol.(b) 1 (2006) .