

イオン打ち込み Si の赤外不純物発光

近藤佑亮、中田博保
大阪教育大教育学部教養学科

Temperature dependence of photoluminescence in ion-implanted Si

Y.Kondoh and H.Nakata

Department of Arts 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. An emission peak was observed around 1.10eV in both P and B ion-implanted Si. This peak shifts to the lower energy side with increasing temperature. An additional peak was observed around 1.06 eV in both samples. The intensity of this peak decreases as temperature increases. Photoluminescence intensity of 1.10 eV peak at 300K depends on excitation intensity superlinearly.

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]Prins 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 $2.05 \mu\text{m}$ の深さまでドーブした P 型半導体と P($9.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) を $2.77 \mu\text{m}$ の深さまでドーブした 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 ($1.0 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$) がドーブしており、どちらも p-n 接合をしていることになる。

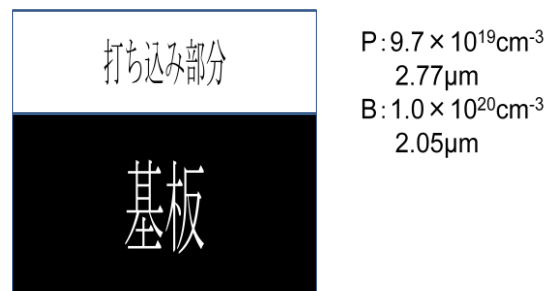


図 1 イオン打ち込み Si の構造

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 100mW) を用いその光をレンズで集光し試料にあてている、検出器には近赤外光電子増倍管(浜松フォトニクス:R5509-73)を用いて、分光器により発光スペクトルの測定を行った。異なる温度でのフォトルミネッセンスの観測や、常温での励起強度変化におけるフォトルミネッセンスの観測等を行い、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。

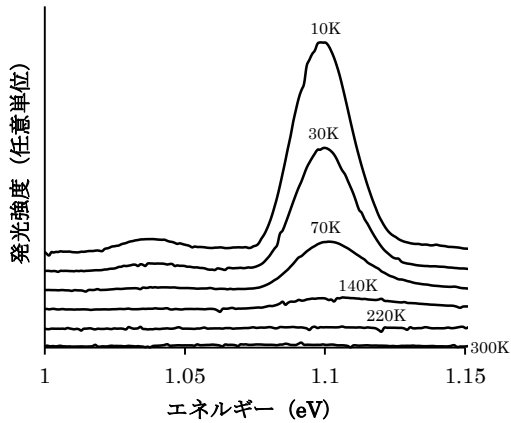


図2 Pイオン打ち込みSiの異なる温度でのフォトルミネッセンス

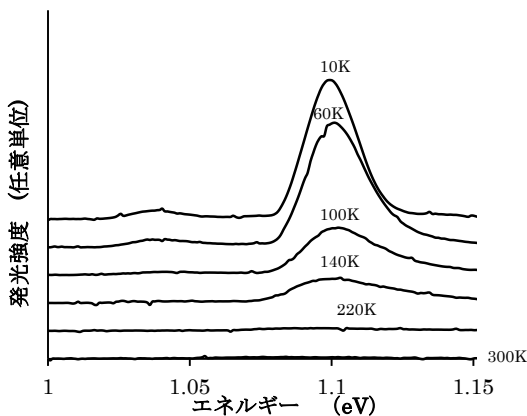


図3 Bイオン打ち込みSiの異なる温度でのフォトルミネッセンス

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。

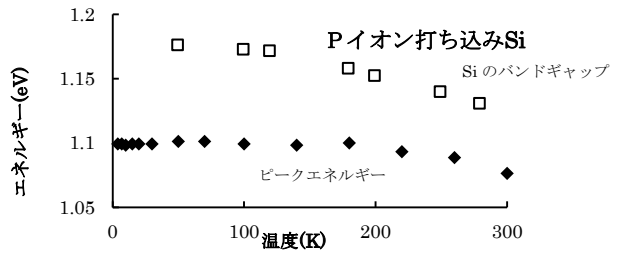


図4 Pイオン打ち込みSiのピーク位置の温度依存性

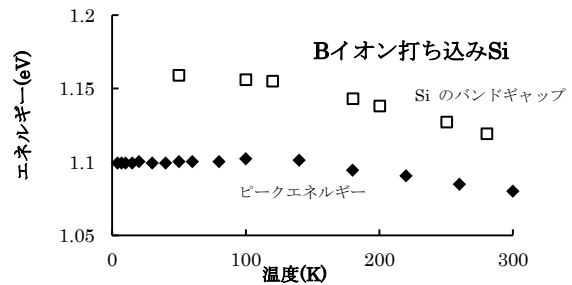


図5 Bイオン打ち込みSiのピーク位置の温度依存性

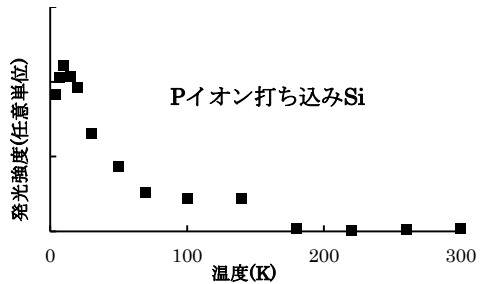


図6 Pイオン打ち込みSiの発光強度の温度依存性

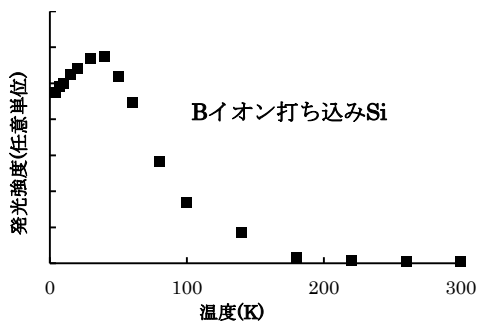


図7 Bイオン打ち込みSiの発光強度の温度依存性

この時の温度変化によるピーク位置の変化を図 4,5 で表し、温度変化による発光強度の変化を図 6,7 で表している。これらの図からわかるように、ピーク位置は140K 付近を境に低下していったことがわかる。また、発光強度は双方共に温度が上がるにつれて一度発光強度が上がり、そして、そこから低下していったことがわかった。

次に、励起強度を 500mW に上げて室温状態においての P・B イオン打ち込み Si それぞれの室温でのフォトルミネッセンスを測定したところ、図 8,9 のような発光が観測された。

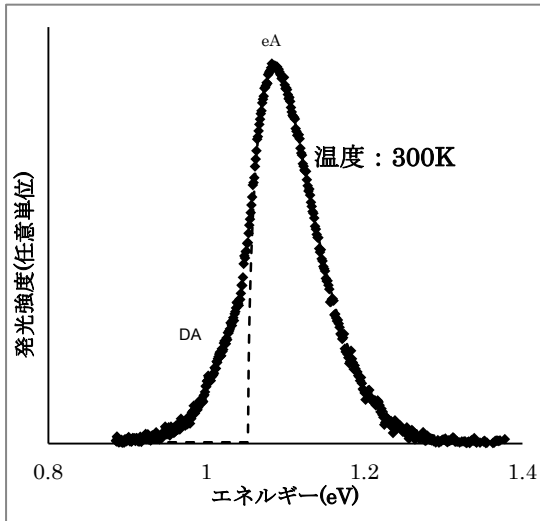


図 8.P イオン打ち込み Si の室温でのフォトルミネッセンス

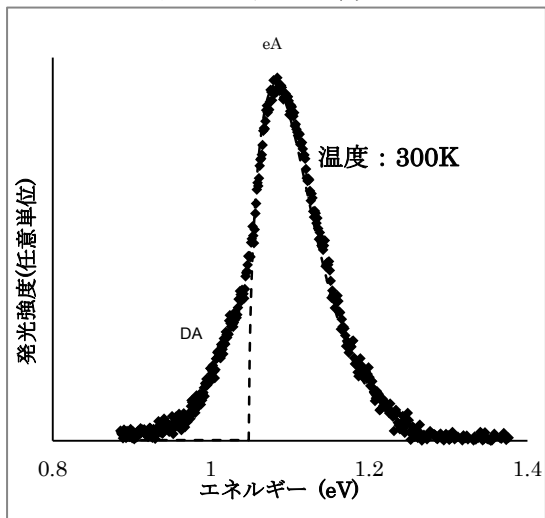


図 9.B イオン打ち込み Si の室温でのフォトルミネッセンス

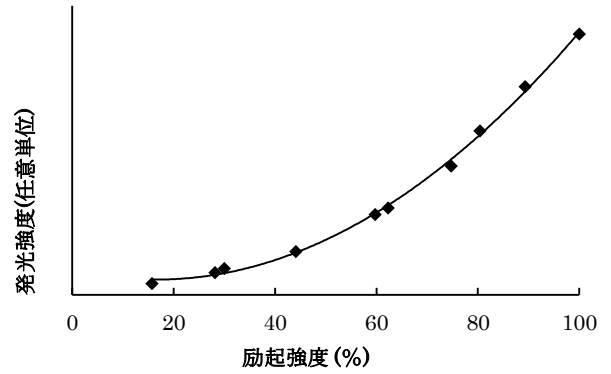


図 10.P イオン打ち込み Si の発光強度の励起強度依存性

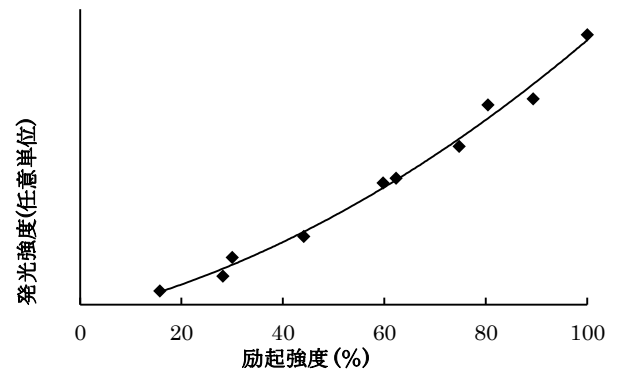


図 11.B イオン打ち込み Si の発光強度の励起強度依存性

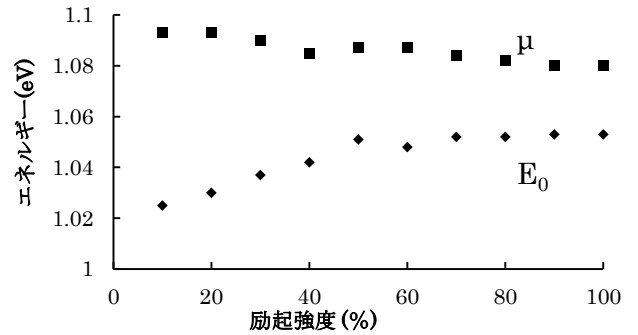


図 12.P イオン打ち込み Si のピーク位置の励起強度依存性

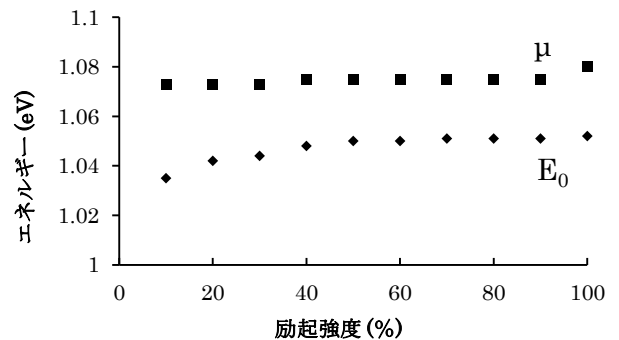


図 13.B イオン打ち込み Si のピーク位置の励起強度依存性

図 8,9 ように双方においてほぼ同じ形のフォトルミネッセンスが観測された。このフォトルミネッセンスに 2 種類の発光ピークが観測され、高エネルギー側の発光ピークは 1.08eV、低エネルギー側は 1.02eV 付近に発光ピークが観測されたために、それぞれの発光は eA 発光と DA 発光によるものだと考えられる。他のグループの実験データ[1]と比較すると、今回観測されたデータは DA が強く観測された。これは、不純物濃度が高いことと、レーザーの励起強度が高いことが原因と考えられる。

また常温のまま試料に当てるレーザーをフィルターに通すことによって励起強度を変化させていったところ、図 11、12 のように発光強度が励起強度の 2 次関数に近似した。このように 2 次関数に近似できたのは、スクリーニング効果によって、不純物による再結合を阻害する効果が小さくなるためではないかと考えられる。

更に励起強度を変化させていったときのそれぞれのフォトルミネッセンスをフィッティングしたところ、図 12、13 のようなデータを得ることができた。フィッティングに用いた式は、

$$A\sqrt{E-E_0} \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{k_B T}} + 1}$$

であり、ここで、 μ は化学ポテンシャル、 E_0 はエネルギーギャップである。また、フィッティングをしていくことによって、各励起強度の試料内部の温度は 400K からあまり変化していないことがわかった。また B イオン打ち込み Si と比較すると、P イオン打ち込み Si のデータをみると、励起強度が上昇することによって化学ポテンシャルが減少していることがわかる。これは、励起強度

が上がることによって電子と正孔が多数生成されることによって、多体効果が生じるためだと考えられる。

4.まとめ

今回、イオン打ち込み Si の低温での赤外発光と、励起強度を上げてからの、常温での発光を観測することができた。特に、常温での赤外発光には、いままでの実験データとは異なる点があり、これらのデータを解析していくことによって、本来常温では発光することのできない、Si の常温での発光起源を解明していきたいと考えている。

5. 参考文献

- [1] S. Sasahara et al. Phys. Stat. Sol. (b) 243 1893(2006).
- [2] Y. Ishibashi et al. Phys. Stat. Sol. (b) 244 (2006).