

イオン打ち込み Si の赤外発光の温度依存性

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 3 to 300K. Emission peak were observation around 1.10eV both P and B ion-implanted Si. These peak changed at the low energy side according to increase temperature. An additional peak was observed around 1.04 eV in a heavily P-doped sample. This peak was attenuated according to increase temperature. Photoluminescence intensity depends on excitation intensity of 1.10eV peak at 300K 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

本研究では、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 をドーブした P 型半導体と P をドーブした N 型半導体を用いた。ただし N 型半導体の Si 基

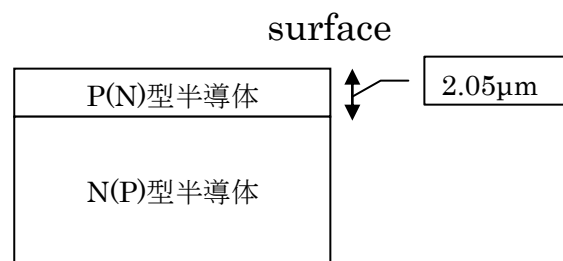


図 1. P イオンまたは B イオン打ち込み Si の構造。境界面で p-n 接合を形成している。

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。SIMS の結果から表面から $2.05 \mu\text{m}$ の位置がバルクとの界面になっている。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)、検出器には Ge pin フォトダイオードを用いて、分光器 ($f=25\text{cm}$) 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、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 B 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、図3は P イオン打ち込み Si のフォトル

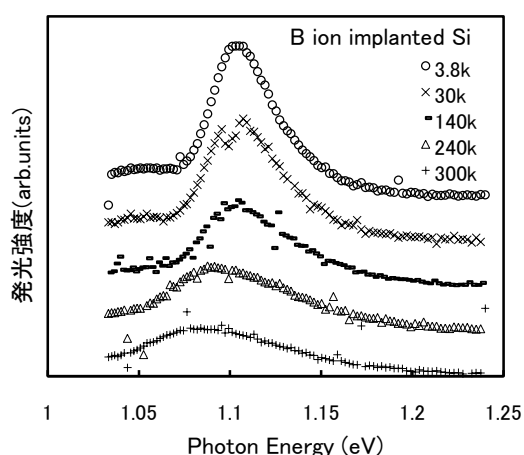


図 2. B イオン打ち込み Si のフォトルミネッセンスにおける異なる温度での発光スペクトル。

ミネッセンスのスペクトルをそれぞれ示している。B イオン打ち込み Si については、石橋等のとほぼ同じスペクトルであり 1.10eV 付近に発光ピークが観測されたが、P イオン打ち込み Si については、石橋等の実験データとは大きく異なり、本来観測されるはずのピーク位置である 1.10eV よりも低エネルギー側の 1.04eV 付近にも大きな発光ピークが別に観測された。この 1.04eV 付近に観測された発光ピークは温度が上昇することで、発光強度が減衰してゆき、ある一定の温度以上になると全く観測されなくなった。両方のイオン打ち込み Si に共通して観測された 1.10eV 付近発光ピークは双方ともに図4のように温度が上昇すると共に発光強度が減衰しつつ、ピーク位置が低エネルギー側にシフトしていき 300K においてほぼ同じ形の発光スペクトルが観測されたことから、発光起源は二種類共に同じものだと考えられる。次に P イオン打ち込み Si において、室温で励起強度

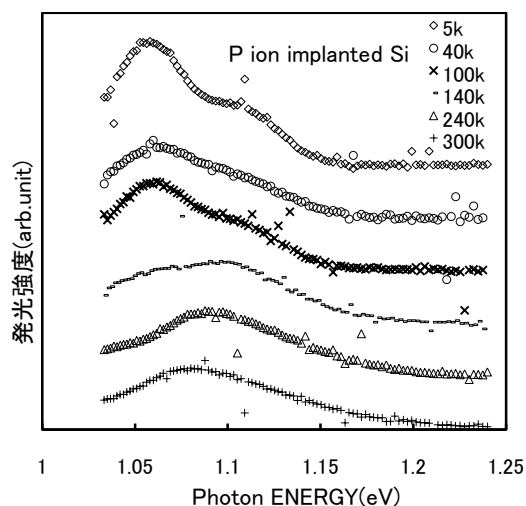


図 3. P イオン打ち込み Si のフォトルミネッセンスにおける異なる温度での発光スペクトル。

を変えフォトルミネッセンスを測定したところ、図 5(a)に示されるように発光強度が励起強度の二次関数に近似することができた。また B イオン打ち込み Si でも同様の測定を行ったところ、図 5(b)に示されるようにある程度強い励起強度から急に発光が観測され、その発光強度も二次関数に近似することが出来た。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、常温発光の原因が励起子であると提案されている、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、これでは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束縛エネルギーが上昇することで自由励起子の運動エネルギーが小さくなり、

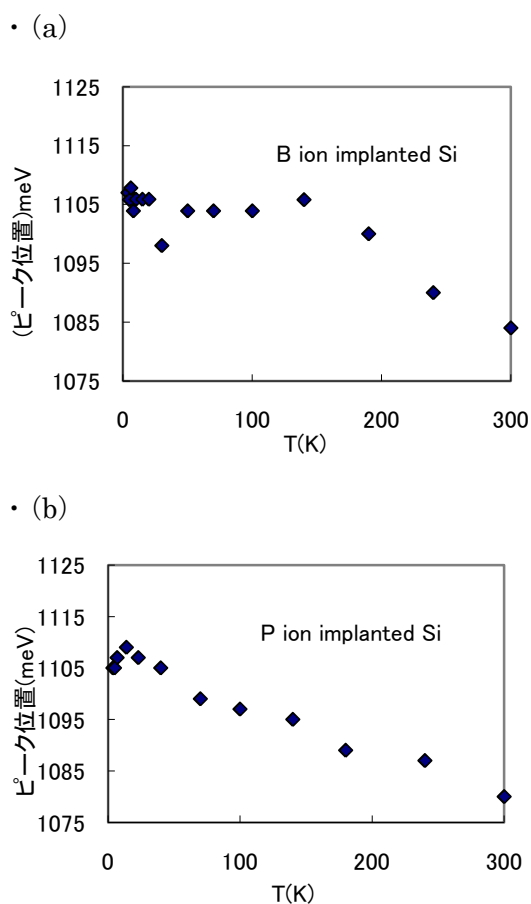


図 4.(a)B イオン打ち込み Si の温度変化によるピーク位置の推移。(b)P イオン打ち込み Si の温度変化によるピーク位置の推移。

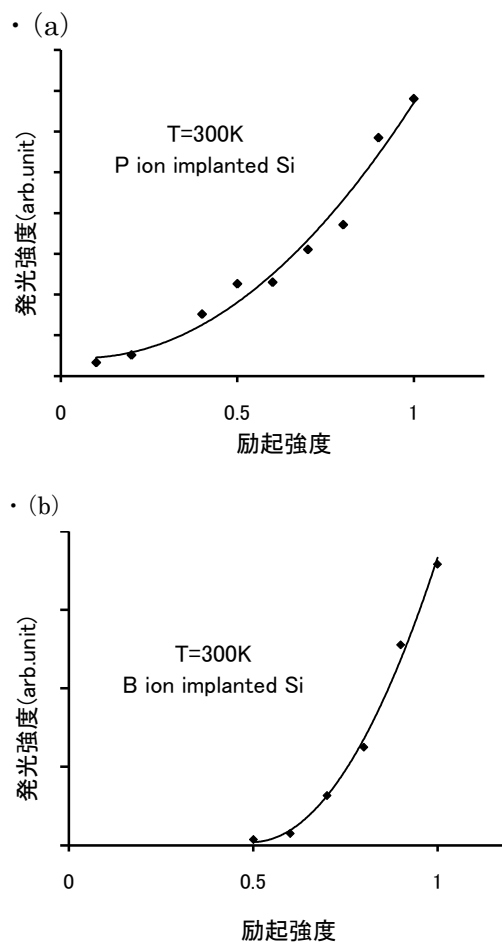


図 5. (a)P イオン打ち込み Si の常温(300k)での、ピーク発光強度の励起強度依存性。(b)B イオン打ち込み Si の常温(300k)での、ピーク発光強度の励起強度依存性。

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ま
したが、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、常温状
態における励起強度変化に発光強度の変化
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、常温においては双方ほぼ同じ形の発光
スペクトルを形成し、常温における励起
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
しているので、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]A.D.Prins,Y.Ishibashi,S.Sasahara,J.N
akahara,M.A.Lourenco,R.M.Gwilliam,T.
Kobayashi,A.Nagata,andK.P.Homewood,
phys.stat.sol.(b)241,3387(2004)
- [2]Y.Ishibashi,S.Sasahara,A.Nagata,T.Su
gimoto,A.D.Prins,T.Kobayashi,andJ.Nak
ahara,Rev.High
Press.Sci.Technol.14,93(2003)(in
Japanese)
- [3]Ming-FuLi
[MODERNSEMICONDUCTOR
QUANTUM PHYSICS]
World Scientific P93