

課題名 「赤外光励起による半導体中不純物の拡散促進」

実験責任者 白井光雲 大阪大学産業科学研究所、産業科学ナノテクセンター
使用ビームライン BL43IR

[研究の背景]

半導体デバイスプロセスの中では不純物拡散の過程が、不純物種を変え、何回も、かついろいろな温度で行われている。一つの過程では問題ではない温度でも、別の過程では大いに問題となり、プロセスの制御が非常に煩雑なものになる。このような制限を取り払い、特定の原子種のみを選択的に拡散することができることと産業界へのインパクトは大きい。本研究ではこの選択的拡散を、不純物固有の振動を利用し、赤外光による振動励起により達成しようというものである。このような産業界からの要請をバックに、このアイデアは文部科学省の独創的革新技术開発研究[1]のプログラムの中で試されたものである。

このプログラムの中ではある程度の目標が達成されたというものの[2]、全体としてはまだ核心部分には迫っているとはいえない。一番大きな問題は、適切な赤外領域のレーザー光がないことにある。そのため申請者はここ3年、赤外光励起が本当に効果あるものなのか、もし効果があるとすればどの程度のレーザー強度が必要かを計算機シミュレーションにより研究してきた。

その研究が申請者自身の研究、[3-5]の論文にまとめられている。これらのシミュレーションにより、適当な不純物種によっては赤外光励起による効果が認められた。申請者はこれらの計算機シミュレーションの結果に基づき、実現可能な照射条件を割り出してきた。一方で強力な赤外領域の光源は SPring-8 などを始めとして、放射光、自由電子レーザー施設の整備で可能となりつつある。そのような状況で、本実験を試みることはまことに時宜にかなったものである。

[目的]

シリコン中の不純物の拡散を赤外光で励起して、不純物モード振動数に共振する振動数で、拡散が促進するかどうかを明らかにする。

より具体的には以下のような実験を行う。シリコン基板中に酸素不純物を仕込み、初期濃度プロファイルを作っておく。この初期濃度勾配が酸素振動の共鳴振動数の赤外光照射により拡散が促進するかどうかを調べる。SPring-8 ではもっぱらその赤外光の照射実験の部分を行い、拡散の測定はその後、帰ってから SIMS などの測定により行う。SPring-8 での赤外光照射実験では、いろいろ波長を変えて行うことが重要となるが、従来、入射光はほとんどの場合、白色光を用いていて、入射光に対する回折格子などはない。そこで差し当たりの対処策として赤外領域のフィルターを利用することにした。

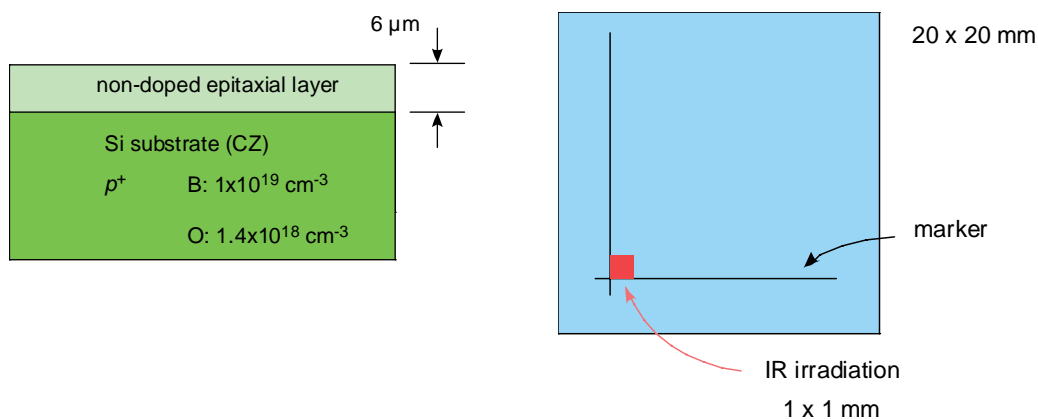


図1 左：試料の深さ方向の特性、右：試料表面の様子

[実験]

外形的には、図1に示されるように、1~2cm角、~1mm厚のシリコン基板の上に成長させたシリコンエピタキシャル膜を用いる。基板には酸素が $1.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 含まれており、その酸素不純物のエピタキシャル膜への拡散が赤外光励起でどれくらい変るかを調べる。またその基板にはボロンが $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 含まれておりボロンと酸素の拡散の違いにより、赤外光励起の効果が単なる温度上昇による熱的なものでないことを示す狙いを持っている。このような試料での赤外光励起に要される入力パワーの設計値は、酸素原子一個について $1.0 \times 10^{-9} \text{ W/atom}$ である [5, 6]。

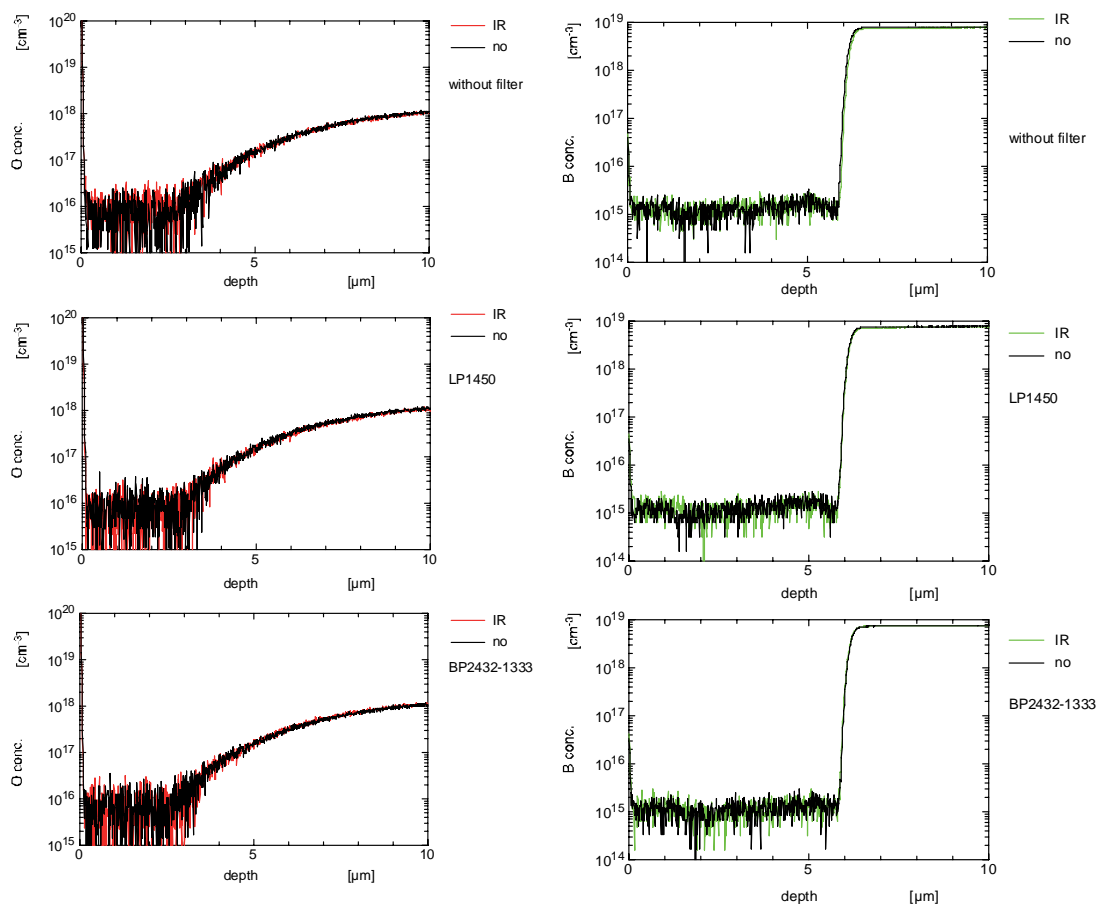


図2 試料の不純物濃度プロファイル、(左)酸素、(右)ボロン

[結果]

赤外光励起の実験は BL43IR で行った[6]。赤外ビームは鏡 M_0 から取り出された後、 M_3 と M_4 の間で焦点が絞られ、通常はそこからさらに観測系へ引き回すのであるが、今回の実験は強強度の照射実験であるので、この M_3 と M_4 の間の焦点に試料を置く。 $150 \times 100 \mu\text{m}$ に絞ったビームで、試料表面 $1 \times 1 \text{ mm}$ の部分をスキャンする。全体として12時間の照射実験である。これは個々の $150 \times 100 \mu\text{m}$ のスポットについては810 sec照射に相当する。このときの酸素原子一個のパルス一個についての吸収エネルギーは $2.6 \times 10^{-12} \text{ W/atom} \cdot \text{pulse}$ で、設計値より3桁ほど小さい。また照射実験は、入射光をフィルター無しで照射した場合と、フィルター(ローパスフィルターLP1450とバンドパスフィルターBP2432-1330)を用いた場合で比較している。

以上の条件により照射実験を行ない、その赤外光照射部と非照射部での不純物濃度プロファイルと比較したものが図2である[6]。

エピタキシャル膜中での酸素、およびボロンとも照射部と非照射部での不純物濃度プロファ

イルに差が見られない。またフィルターの効果も現われていない。これで見える限り赤外光励起による不純物拡散の促進は認められない。

[まとめ]

赤外光励起による不純物拡散の促進実験を放射光実験施設で初めて行った。今回の実験では赤外光励起による不純物拡散の促進は認められなかったが、どこに原因があったかを分析し次の発展につなげたい。本論文で述べた設計値は計算機シミュレーションに基づくものであるが、カバーすべきシミュレーション現象があまりにも広く、その各々のステップで誤差が伴うので全体としてどれくらいの誤差になるかが極めて難しい。一応シミュレーションの予測値を信用すると、今回の拡散促進効果が見られなかったことの一の原因は、入射パワーが3桁ほど小さいことによると考える。しかしパルス条件など考慮しなければならない事項が多く、今後の発展を望む。

参考文献

- [1] 文部科学省、独創的革新技術開発研究、課題番号 1 5 4 0 4 「赤外レーザー照射による半導体
中不純物の選択的低温拡散技術の研究」(金田寛代表)
- [2] H. Yamada-Kaneta and K. Tanahashi, *Physica B* **376-377** 66 (2006).
- [3] K Shirai, H Yamaguchi, and H Katayama-Yoshida, *J. Phys.: Condens. Matter* **19** (2007) 365207.
- [4] K Shirai, H Yamaguchi, and H Katayama-Yoshida, *Physica B*, in press.
- [5] K Shirai, H Yamaguchi, and H Katayama-Yoshida, in preparation.
- [6] K. Shirai, H. Yamaguchi, K. Matsukawa, T. Moriwaki, and Y. Ikemoto, presented in 4th International
Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator Based Sources (WIRMS), Sep.
25-29, 2007, Awaji, P-22.