

Old material, new results: light emission from ion implanted defects in silicon and pressure-induced phase transformations in silicon

古い材料、新しい結果: シリコン中の照射欠陥からの発光及び圧力により誘起されるシリコン相転移

Jim Williams

Research School of Physics and Engineering, Australian National University, Australia
オーストラリア国立大学、物理・工学部、オーストラリア

This presentation focuses on our recent results from two exciting areas of continuing silicon research: light emission from defects and pressure-induced phase transformations.

Light from defects: It has been well known for some time that ion implanted defects in silicon can luminesce with emission wavelengths in the near infra-red that are specific to the nature of the defects. For example, point defect clusters, so-called W-line defects, luminesce at $1.218\mu\text{m}$, whereas extended or {311} defects give rise to an R-line at $1.372\mu\text{m}$. Also, luminescence from dislocations gives rise to D-lines usually above $1.5\mu\text{m}$. In this presentation, our recent studies that have attempted to optimize the implantation and annealing regimes for maximum luminescence from these defects are reviewed. Specifically, we have found that boron dopants can lead to a dramatic reduction in luminescent intensity for all defects, but particularly the W-line, whereas n-type phosphorus does not influence luminescence significantly. Finally, we have fabricated LED devices and shown strong W-line luminescence at 13K as long as boron is not located in active regions of the device.

Pressure-induced phase transformations: It is well known that carbon possesses a number of allotropes such as diamond and graphite that have distinctly different structures and properties. The fact that silicon also has up to 13 allotropes with distinctly different structures is not as well known, probably since they are only accessible by the application of considerable pressure. It is the diamond cubic form of silicon, the only truly stable phase, that exhibits the attractive suite of properties that have driven the current functionality of the silicon chip. However, it has recently been shown that at ambient temperatures and pressure there are up to four other phases of silicon that are metastable. This presentation outlines research from the ANU group over the past 15 years that has provided the basis for understanding the transformation processes that lead to them, their stability and in some cases their unusual properties. For example, we have recently shown that one of these metastable phases, so called Si-XII, is a semiconductor with properties that are totally different to those of conventional diamond cubic silicon, but nonetheless no less attractive for applications.

講演ではシリコン(Si)に関する二つのエキサイティングな最近の研究に焦点を絞って紹介を行います。一つは欠陥からの発光、もうひとつは、圧力によって生ずる相転移です。

欠陥からの発光: イオン注入により Si 中に導入された欠陥のいくつかは、その起源により特有の近赤外付近の波長を持つ発光をすることが良く知られています。例えば、R ラインと呼ばれる拡張欠陥または {311} 欠陥による発光は $1.372\mu\text{m}$ であるのに対し、W ラインと呼ばれる点欠陥の集合体は $1.218\mu\text{m}$ の発光を示します。また、転移欠陥による D ラインの発光は一般的に $1.5\mu\text{m}$ 以上の波長を持ちます。この講演ではこれらの欠陥からの発光特性を最大に引き出すためのイオン注入や熱処理条件の最適化に関する研究成果を述べます。この研究の中で、具体的には、n 型形成のためのリン不純物は発光に影響を与えないのに、ボロン不純物は、これらの欠陥、特に W ラインの発光を劇的に減少させることを見出しました。最後に、発光ダイオード(LED)の作製と、ボロンを活性層から取り除くことで得られる 13K での W ラインからの強い発光も紹介します。

圧力誘起相転移: 炭素がダイヤモンドやグラファイトといった構造や特性の異なる幾つかの同素体を持つことは良く知られています。Si も構造等の異なる 13 の同素体を持つが、ある圧力下でのみ観測されるため、そのことはあまり知られていません。ダイヤモンド構造の Si のみが安定相で、機能的な優れた特徴を示すと言われていました。しかし、近年、温度や圧力によって 4 つの準安定相が Si にあることが示されました。講演では、オーストラリア国立大学で 15 年以上行ってきた Si の相転移に関する研究成果である準安定相の安定性と特異な特性を紹介します。例えば、我々が見出した Si-XII と呼ばれる準安定相は、従来知られている Si の特性とは全く異なるが応用上、非常に魅力的な特性を示します。