

研究課題別 事後評価結果

1. 評価の概要

対象領域：戦略的国際共同研究プログラム (SICORP) 日独共同研究「ナノエレクトロニクス」

対象期間 (研究実施期間)：2010年2月～2013年3月末日

2. 共同研究課題：「ダイヤモンドの同位体エンジニアリングによる量子コンピューティング」

3. 日独側研究代表者名 (研究機関名・職名は研究期間終了時点)：

日本側研究代表者 磯谷 順一 (筑波大学図書館情報メディア系 主幹研究員)

ドイツ側研究代表者 Fedor Jelezko (ウルム大学量子光学教室 教授)

4. 研究実施概要

本課題は、ダイヤモンドのカラーセンターの単一スピンを用いて室温で動作する量子論理回路の実用化を目的として開始した。日本側は、高純度ダイヤモンド結晶成長および NV センターを作製する欠陥制御技術を担当し、ドイツ側は量子情報処理の先端技術を担当した。成果の詳細については添付の報告書参照。

5. 事後評価結果

5-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果 (論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

本課題は、ダイヤモンド中の NV センターに捕捉された電子およびセンターやその近傍の核スピン状態を量子ビットに用いる量子論理素子開発の提案である。日本の高純度試料作製技術とドイツの高度なスピン操作技術を持ち寄り、長いコヒーレンス時間をもつ素子を作製し 3~5 量子ビット演算を実現することを当初の目標として研究を行った。デコヒーレンスの原因として炭素同位体 (^{13}C) と窒素 (N) のランダムな分布を想定し、同位体高濃縮メタン (99.999%) を原料とし CVD 薄膜 (99.998%)、これを原料として高圧合成単結晶 (99.995%) を実現した。薄膜試料作製に際し、原料の利用率 80%、原料中の N 不純物の低減など、超高純度同位体制御試料を効率よく作製するための技術を開発したことは特筆される。

NV センターを完成するために、イオン注入法が用いられた。結晶中に元々存在する N 不純物と区別するために、 ^{15}N イオンによりラベル化された NV センターに着目し、イオン注入時導入される欠陥の振舞いの温度依存性が追跡された。作製時及び作製後の温度管理により、従来の最長記録に並ぶ $T_2 \sim 2\text{ms}$ が実現された。さらに 2 量子ビット演算を可能にするペア生成が試みられ、 N_2 分子イオン注入や C イオンとの共注入など色々な方法が試みられた。これにより、ペア間の双極子双極子相互作用の強さを測定できるレベルにまで到達した。

以上、試料作製に関して本グループは広い範囲の新しい試みを行った。これまで前例の無い炭素の同位体高濃縮固体の実現、二つのイオンの相対位置を制御しようとするイオン注入技術などで成果を得たことは評価される。論文等の外部発表数が少ないが、試料作りという研究の性格上やむを得ないであろう。

共著論文数：3

日本側チーム論文数：6

特許出願数：1

5-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト

量子情報操作は、実現性だけでなくそれが我々に何をもたらすかということも含めて未知の部分が多く、様々な方法による論理素子開発が多方面で行われているゆえんである。中でも、固体中スピン一個を量子ビットとする素子においては、核スピンのランダムネスを排除するため、化学的な純度はもちろん同位体も含めた高純度結晶が必要である。本プロジェクトは、炭素を使ったこの種の試みの一つであり、その先駆性は評価される。

5-3. わが国の科学技術力強化への貢献（共同研究状況、研究交流活動状況等を含む）

量子回路に関する研究レベルは、対象とする回路の物理的な違いによって地域的なばらつきがある。なかでも、NV センターの量子ビットとしての研究はドイツが圧倒的な蓄積を持っていた。この状況下で、我が国が得意とする高圧結晶合成技術とドイツの研究を組み合わせ、相補的な共同研究を企画することは合理的であった。しかし、残念ながら研究の実施状況において相補性が活かされたとは言い難い。相互交流の点では、日本側が頻繁にドイツを訪れて測定を行っているが、ドイツ側の訪日はごく少なく相互訪問は非対称であり、共同研究としてのメリットがどこにあったのか、判然としない。また、その他の交流においても当事者に限定されていて、拡がりに欠ける。我が国の研究者の目をこの分野に向けさせ、我が国が得意とする別種の量子回路を研究する近隣の分野も巻込んで研究を活性化させる良い機会だったと思われるが、残念である。