

課題番号 : F-18-WS-0077  
利用形態 : 技術相談  
利用課題名(日本語) : シリコンマイクロ流路による希釈冷凍機の開発  
Program Title (English) : Development of dilution refrigerator with silicon microchannel  
利用者名(日本語) : 石黒亮輔  
Username (English) : R. Ishiguro  
所属名(日本語) : 日本女子大学理学部数物科学科  
Affiliation (English) : Department of Mathematical and Physical Sciences, Faculty of Science, Japan Women's University  
キーワード/Keyword : ウェハ直接接合、エッチング、異種接合、マイクロ流路、切削、研磨、接合

## 1. 概要(Summary)

本研究では、単結晶シリコン基板上に形成するマイクロ流路によって超小型希釈冷凍機を開発し実証することを目指している。希釈冷凍機は 100mK 以下の極低温領域を連続的に実現する冷凍機である。希釈冷凍機によって実現する極低温温度は、物質における量子効果が増大することから物性研究において広く利用されるほか、温度に比例する熱揺らぎによる雑音が小さくなることから人工衛星による宇宙マイクロ波背景放射の観測などの超高感度計測などにも利用されている。また、D-wave 社が販売する量子コンピュータにおいても量子ビットのコヒーレンスを保つために希釈冷凍機が用いられており、希釈冷凍機の将来的ニーズも期待される。本研究では微細加工技術を用いたシリコンマイクロ流路を利用した超小型の希釈冷凍機の実現を目指している。また、本研究は単にサイズの小型化だけにとどまらず、「材料を含めた設計の自由度の高い微細加工技術」と「大きな比表面積と界面が重力ではなく表面張力に支配されるマイクロ流路」の性質を最大限利用し、従来の希釈冷凍機にはない機能を有する新しいタイプの極低温冷凍機を実現することを目指している。

このシリコンマイクロ流路による超小型希釈冷凍機開発の研究における核心技術の一つはウェハ直接接合などの接着技術である。しかしながら、本研究のこれまでの共同研究体制ではこの点に関して十分な技術的な蓄積は無かった。

そこで今回、マイクロ流路形成のためのウェハ直接接合や金属チューブとシリコン基板の高信頼な接着実現について、早稲田大学支援機関に技術相談を申し込み、水野潤教授に様々なアドバイス等をいただいた。

まず、マイクロ流路を希釈冷凍機の熱交換器として用

いるためには、1 メートル以上にわたってマイクロメートルサイズの極薄壁で 2 つの流路を完全に分ける必要がある。しかしながら、希釈冷凍機の流路を流れる冷媒は超流動状態の超流動ヘリウムであり、超流動ヘリウムは原子サイズの穴も粘性無しで通ることが出来るため、この熱交換器用の流路は高信頼なウェハ直接接合形成技術が必要であることを確認した。

技術相談の結果、直接接合形成のプロセスによる加工方法について常温接合だけでなく、温度を上げた接合や SiO<sub>2</sub> 層を挟む方法など高信頼な流路形成のためのアドバイスを受けた。さらに、シリコンマイクロ流路で形成した希釈冷凍機の構造は金属パイプとつなぐ必要があるが、シリコン基板と金属との間の熱膨張係数の違いなどからその接着には技術を要するが、この点においても有益なアドバイスを受けた。また、本研究を共同研究として遂行する可能性についても前向きに検討した。

## 2. 実験(Experimental)

< 技術相談のため概要のみ記載。以下、空欄。 >

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

< 技術相談のため概要のみ記載。以下、空欄。 >

## 4. その他・特記事項(Others)

なし

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし

## 6. 関連特許(Patent)

なし