

氏名	DUANGCHAN SETHAVUT (タイ)		
学位の種類	博士 (情報工学)		
学位記番号	情工博甲第319号		
学位授与の日付	平成29年3月24日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Study on operating-temperature reducing technique for silicon-on-insulator device by using a nano-crystalline diamond (ナノ結晶ダイヤモンドを利用した SOI 素子動作温度の低温化技術に関する研究)		
論文審査委員	主査	准教授	馬場 昭好
		教授	有馬 裕
		〃	伊藤 高廣
		〃	中村 和之
		准教授	新海 聡子

学位論文内容の要旨

近年、CPU などの半導体素子 (LSI) に供給する電力の低電圧、高電流化のため電力変換器であるコンバータにおける発熱が電力変換効率低下の主たる原因になっている。本研究は高速スイッチング可能な SOI-MOSFET 素子の動作時の低温化を実現するため、通常、素子に使用されている SiO₂ よりも約 1 桁熱伝導率の高いナノ結晶ダイヤモンドを絶縁体に使用した素子を実現するための技術に関する研究成果についてまとめたものである。

第1章では、コンバータの温度が上昇した際、スイッチング素子として用いられている MOS トランジスタの ON 電流の減少および OFF 電流の増加について詳細な計算を行い、動作時の温度を低く抑えることがコンバータの電力変換効率を改善するためには重要であることを論じている。

第2章では、通常、MOS トランジスタの絶縁体として使用されている SiO₂ に対し、ナノ結晶ダイヤモンドの放熱特性の優位性について調査した結果を論じている。薄膜 Si を SiO₂ およびナノ結晶ダイヤモンドで覆った素子を作製し活性層である薄膜 Si の温度を比較した。この素子では Si 薄膜に対し直接電力を印加し発熱させ、同時に同じ Si 薄膜の抵抗変化を測定することで活性領域の温度を直接計測する方法を用いることで正確な温度測定を実現している。ナノ結晶ダイヤモンドで覆われた Si 薄膜は、SiO₂ で覆われた Si 薄膜と比べ同一印加電力で約 20°C 温度を低くできることがわかり、ナノ結

晶ダイヤモンドの放熱特性の優位性を実証した。

第3章では、高排熱基板である SOD (Silicon-on-Diamond) 基板を実現する手法として、Si とナノ結晶ダイヤモンド間に水酸基修飾率が高い SiO₂ 薄膜を用いた異種材料低温接合技術を提案し、SiO₂ 薄膜同士の低温接合条件について論じている。低温接合が可能になるためには、表面の粗さが 1 nm 以下の平坦性が必要であること、さらには、O₂ ガスによるプラズマ活性化により表面水酸基濃度が増加し接合面積が大きくなることを実証した。

第4章では、第3章で得られた知見をもとに、SOD 基板の作製に必要な表面平坦化技術および中間層である SiO₂ の薄膜化技術について論じている。ナノ結晶ダイヤモンド表面の粗さは約 14 nm と粗いため、ナノ結晶ダイヤモンド表面に SiO₂ 膜を堆積した後、CMP (Chemical-Mechanical-Polishing)法により表面を平坦化する方法を提案し、表面粗さを 0.5 nm 程度まで減じ接合が可能となることを実証した。さらに、Ar イオンによる SiO₂ 膜をスパッタリングすることで初期表面粗が 1 nm 程度であれば、表面粗さを 0.5 nm 程度まで減じることが可能であることを実証した。さらにこの Ar イオンによるスパッタリングは SiO₂ の残膜厚の制御性が良く、CMP では不可能である 10 nm 程度の残膜制御が可能であることを実証した。これらの技術を用い、4 inch SOD 基板の作製を実現した。

第5章では、ナノ結晶ダイヤモンド膜の放熱特性および高排熱基板である SOD 基板作製技術についてまとめ、今後の展望を行っている。

学位論文審査の結果の要旨

本研究では、半導体デバイスの低温度動作を可能とするため、通常の LSI の絶縁体に用いられている SiO₂ 薄膜を熱伝導率が約 1 桁高いナノ結晶ダイヤモンド薄膜に置き換えた場合のナノ結晶ダイヤモンドの排熱特性の優位性および高排熱基板である SOD (Silicon-On-Diamond) 構造作製について実証した。活性 Si 層を覆う絶縁膜をナノ結晶ダイヤモンドとした場合、従来の半導体素子に用いられる SiO₂ 薄膜で活性 Si 層を覆った時よりも約 20°C の低温化が実現できることを示した。さらに、SOD 構造を作製するために、表面粗さ低減手法の確立、水酸基導入のための表面活性化技術の確立および中間層である SiO₂ の極薄膜化技術を確立した。これにより、異種材料接合による高排熱基板 (SOD 基板) を実証した。これらの結果は、電力変換器 (コンバータ) のスイッチング素子の低温化を実現できる技術であり、電力変換の高効率化に大いに貢献できる。

本論文に関し、公聴会において、調査委員および一般参加者から、ナノ結晶ダイヤモンドを選んだ理由、SiO₂ 低温接合に関する今後の課題と研究方針、ナノ結晶ダイヤモンド接合に関して他の方法に対する優位性や表面粗さを低減する別の方法および活性化後の表面化学状態と接合強度の関係などの質問がなされたが、いずれも論文提出者に

より適切な回答が得られ、質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。