

ALCA-Next

「半導体」領域

2024 年度 年次報告書

2023 年度採択

[研究開発代表者名:野村 政宏]

[東京大学生産技術研究所 教授]

[研究開発課題名:フォノンエンジニアリングに立脚した 3DIC 放熱技術開発]

主たる共同研究者:

[高木 剛 (東京大学大学院工学系研究科 主幹研究員)]

[霜垣 幸浩 (東京大学大学院工学系研究科 教授)]

[藤岡 洋 (東京大学生産技術研究所 教授)]

実施期間 : 2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

§1. 研究開発成果の概要

三次元 IC の立体構造とパワー密度増大による接合温度上昇は克服すべき課題であり、高効率な放熱技術開発は必須である。本研究開発では、TSV および BEOL 部に用いられている低熱伝導率の SiO_2 絶縁膜を一部高熱伝導 AlN で代替することにより高放熱性を実現することを目指す。そして、半導体産業の進化と CO_2 排出量削減の両立を可能にする 3DIC の実現に貢献する。

本年度は、結晶成長、プロセス、計測、評価、シミュレーションの流れがスムーズに実行された。機械学習ポテンシャルを用いた界面の熱コンダクタンスを正確に計算可能になった。半導体における革新的熱制御技術として、放熱材料として有望なグラファイトの熱伝導率を従来と異なるメカニズムで増大させ、熱機能性も発現させることに成功した[1]。

AlN の導入効果について、下記のシミュレーション結果を VLSI Symposium2024 で発表した[2]。DRAM を積層した HBM 構造の TSV 絶縁膜として SiO_2 に替えて AlN を用いた場合、チップ内の最高到達温度が低減できることを示した。また、2 nm 世代のロジックデバイスに適用される BSPDN デバイスにおいて、裏面の配線層絶縁膜に AlN を用いてホットスポットを解消できることを示した。 AlN を TSV 絶縁膜に用いることにより、3D AI チップの最大積層数を増大させて GPU 台数の削減が可能で、2030 年度の全世界のデータセンタから排出する CO_2 を約 0.2 億トン削減可能と算出した。

FM-CVD による AlN の低温 (400°C 以下) 製膜技術開発では、外部機関の装置を用いたデモ実験を行った。FM-CVD では不純物が低減し深い溝にも高被覆性で製膜できた。実験機が納入された下半期は、本機を用いて、結晶性向上と残留酸素成分低減を目指して実験を進め、高熱伝導率となるプロセス条件の方向性を見出した。また、スパッタリング法を用いて TSV や BEOL 用の高熱伝導絶縁膜を 400°C 以下で成長する手法の開発を念頭に、点欠陥濃度を制御する手法や AlN の結晶品質を大幅に向上させる界面成長プロセスを開発するなど、予定どおりの研究成果を得た。また、高成長温度ではあるがバルク単結晶基板並の熱導電率を持つ高品質結晶をスパッタリング法で実現できることを世界で初めて実証した[3]。

【代表的な原著論文情報】

1. X. Huang, R. Anufriev, L. Jalabert, K. Watanabe, T. Taniguchi, Y. Guo, Y. Ni, S. Volz, and M. Nomura, “A graphite thermal Tesla valve driven by hydrodynamic phonon transport,” *Nature* 634, 1086 (2024).
2. T. Takagi, T. Ninomiya, M. Niwa, S. Obara, T. Momose, Y. Shimogaki, M. Nomura, H. Fujioka, M. Mori, and T. Kuroda, “High thermal conductivity AlN films for advanced 3D Chiplets,” 2024 Symposium on VLSI Technology and Circuits, JFS3-5, (2024).
3. T. Kozaka, R. Maeda, K. Ueno, and H. Fujioka, “Sputtering epitaxy of coherent $\text{AlN}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{AlN}$ multi-channel structures”, *Phys. Status Solidi RRL* 2400142 (2024).