

単結晶シリコン薄膜の面内熱伝導率の厚さ依存性の検証

STUDY ON THICKNESS-DEPENDANT LATERAL THERMAL CONDUCTIVITY OF SINGLE CRYSTALLINE SILICON THIN-FILM

○手島健志（東大） 児玉高志（東大） 柏木誠（東大） 志賀拓磨（東大） 塩見淳一郎（東大）

○Takeshi TESHIMA*, Takashi KODAMA*, Makoto KASHIWAGI*, Takuma SHIGA* and Junichiro SHIOMI*

* The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo, 113-8654, Japan

Corresponding author: Junichiro SHIOMI, E-mail: shiomi@photon.t.u-tokyo.ac.jp

Knowledge on heat conduction in single crystalline silicon thin-film with various thickness is highly important not only for designing thermal function of silicon-based semiconductor device such as IC and MEMS but also for understanding thermal transport mechanism such as phonon-boundary scattering. However, previous experiments on the thermal conductivity measurement for silicon thin-film are limited for a few different thickness cases and at in the local range of the temperature. In this study, we have fabricated a micro-device consisting of two adjacent symmetric alumina-silicon membranes suspended by long alumina-silicon beams for measuring thermal conductivity of 90 nm thickness single crystalline silicon thin-film between the two membranes. The thickness of the layer is measured by contact probe profilometer after using a combination of photolithography and XeF_2 gas etching. Thermal conductivity of the sample was measured using this micro-device in the temperature range of 4-300K with an evacuated Helium cryostat. We have also calculated the thermal conductivity of the silicon thin-film using first-principles-based lattice dynamics calculation. The measured thermal conductivity increases in the temperature range of 4-90K, then decreases in that of 90-300K. The prediction for the film thickness of 60 nm is very close to the measurement result.

1. 緒言

シリコンはICやMEMSなどの半導体デバイスの標準的な材料である。これらデバイスは高性能化に向けて、構成要素の長さスケールがナノオーダーにまで微細化されている。ムーアの法則に従い、CPUの単位面積当たりのトランジスターの数は増え続けている[1]。しかし、その様な構成要素の微細化に伴い、発生する熱の密度はますます増加しており、熱散逸特性がデバイスの性能や信頼性に大きく影響する[2]。このように、放熱の影響を多大に受けやすい微細構造をもつデバイスにとって、材料である半導体の熱特性を知ることが重要である。また、微小スケールの半導体の熱輸送特性を明らかにすることは、工学的価値が高い。

単結晶シリコン薄膜は厚みに依存して熱伝導率が大きく変化することが知られているが[3-6]、薄膜の面内方向の熱伝導率測定は、基板への熱散逸を防ぐために試料を空中に浮かす必要があり、その構造作製の困難さから十分な実験結果が報告されていない。特に厚みが20 nm下の極薄膜の熱伝導率に関しては測定が実施されておらず、依然として明らかになっていない。熱伝導率測定法のうちジュール発熱法[4-6]が一般的であるが、シリコン薄膜に適用する場合には架橋した試料の上に同形の金属薄膜を配置する必要があり、また対照実験として金属薄膜のみの測定も実施しなければならない。さらに試料薄膜の膜厚により金属を選定する必要があるという問題点がある。その点、本研究で用いる定常法は、試料部分が測定対象であるシリコン薄膜のみであり、直接的に熱伝

導率の測定が可能である。

そこで、本研究では様々な厚みの単結晶シリコン薄膜を橋渡しさせたサスペンド計測デバイスを製作して、それらの面内熱伝導率を定常法によって4 K-300 Kまで評価し、熱伝導率の膜厚に対する温度依存性の変調を調べた。

2. 実験方法

2.1 定常法

まず定常法デバイスの構造概念図を図1(a)に示す。本研究で用いる計測法は、Shi[8]らにより開発されたもので、半導体の微細加工技術を用いて架橋構造を有するデバイスを作製し、電気計測を用いて熱伝導率を求める方法である。2つの膜（以下、それぞれ高温膜と低温膜とする）がおおの6本の支持脚で架橋されており、さらに試料は膜間に架橋されている。膜と支持脚の表面には白金の細線が配線されており、高温膜上のコイル状になった白金細線を電流によりジュール発熱させ、試料の両端に温度差を生じさせる。発生した熱の一部は試料を経由して低温膜に、残りの熱は高温膜を支えている6本の脚を経由して周囲環境に散逸する。ここで、高温膜、低温膜と周囲環境の温度をそれぞれ T_H 、 T_S 、 T_0 とする。白金細線の電気抵抗と温度の関係性より T_H 、 T_S を求めることができる。2つの膜の温度変化 $\Delta T_H (=T_H-T_0)$ 、 $\Delta T_S (=T_S-T_0)$ は熱量の収支を計算すると以下の式で表される[8]。