

超伝導転移端型ガンマ線マイクロカロリメータの多画素化に適した 三層メンブレンの熱コンダクタンスの評価

Thermal Conductance of Tri-layer Membranes for

Multi-Pixel Gamma-Ray Transition Edge Sensors

産総研¹, 東大², 都立大³, °菊地 貴大¹, 神代 暁¹, 早川 亮大^{1,3},
藤井 剛¹, 浮辺 雅宏¹, 平山 文紀¹, ライアン スミス², 大野 雅史²

AIST¹, University of Tokyo², Tokyo Metropolitan Univ.³, °T. Kikuchi¹, S. Kohjiro¹,

R. Hayakawa^{1,3} G. Fujii¹, M. Ukibe¹, F. Hirayama¹, R. Smith² and M. Ohno²

E-mail: kikuchi.takahiro@aist.go.jp

はじめに 我々はガンマ線を高いエネルギー分解能で短時間検出可能な多画素超伝導転移端型マイクロカロリメータ (Transition Edge Sensor: TES) の製作を行なっている。多画素情報の円滑な取得のために、画素毎の超伝導特性が揃っている必要がある。この検出器は熱浴への排熱 (P_{TES}) を制御するためにメンブレン構造を要する。窒化ケイ素 (Si_xN_y) 単層膜メンブレンの熱コンダクタンス $G=dP_{TES}/dT$ (T : 温度) はよく研究されており様々な機関で採用されている。だが、従来の Si_xN_y 単層膜メンブレンではその上に成膜した超伝導薄膜の特性が不均一になる可能性があった。これはメンブレン自立時の下地シリコン (Si) に対する反応性イオンエッチングのレートとそれに伴う Si_xN_y のプラズマ暴露時間双方のウエハ位置依存性のためである。そこで我々は Si_xN_y よりエッチング耐性の高い二酸化ケイ素 (SiO_2) で挟んだ三層 ($SiO_2/Si_xN_y/SiO_2$) メンブレンを採用した。だが、三層メンブレンの熱特性は未知であった。本稿ではその知見を得たので報告する。

実験 我々は $0.45 \leq L_{Mem} \leq 1.5$ mm のメンブレンサイズを持つ一辺 $L_{TES}=0.25$ mm の TES チップ (図1) を試作し、 P_{TES} の熱浴温度依存性の測定結果から G を求めた。 G の理論式はフォノンの平均自由行程 (ℓ_{ph}) と $L=(L_{Mem}-L_{TES})/2$ の大小関係に基

づく三領域毎に分けて記述される[1]。 $\ell_{ph} \sim L$ の領域で (1) 式となる。

$$G \propto 1 / \left(\frac{L}{\ell_{ph}} + 1 \right). \quad (1)$$

図2において、実験値 (丸印) にフィットするよう理論曲線 (1) 式を定めると点線となり両者はよく一致する。この時 $\ell_{ph}=0.75$ mm が得られ $\ell_{ph} \sim L$ の仮定は妥当と考えられる。また、表面にシワの寄らない応力に調整した計 $6.9 \mu\text{m}$ 厚み (Si_xN_y 厚み $5.8 \mu\text{m}$) のメンブレンに対し $G \sim 1$ nW/K を得た。

考察 Si_xN_y 単層膜メンブレンでは 0.5 - $1 \mu\text{m}$ 厚みに対する $G \sim 1$ nW/K と、 $\ell_{ph} \gg L$ で成立し G が ℓ_{ph} に依らない (G の制御性・再現性に有利な) 弾道的熱伝導が報告[2]されている。我々の三層メンブレンは同じ G が得られる厚みが Si_xN_y 単層膜に比べ約10倍大きく、バルク吸収体支持に要する機械的強度の点で有利と期待される。また、 $\ell_{ph} \sim L$ にあるとはいえ、 L が小さくなる設計により弾道的熱伝導に近づけることは可能である。

謝辞 文科省原子力システム研究開発事業

文献 [1] A. Joshi, and A. Majumdar, J. Appl. Phys., 74, 31 (1993).

[2] H. Hoevers, et al., Appl. Phys. Lett., 86, 251903 (2005).

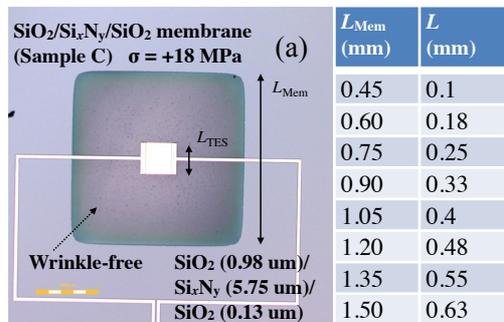


Fig. 1 (a) Tri-layer ($SiO_2/Si_xN_y/SiO_2$) membrane we have fabricated. There were no wrinkles anywhere. Stress of the membrane has been adjusted to be low tensile ($\sigma=+18$ MPa) to get wrinkle-free. Right table shows relation between L_{Mem} & $L=(L_{Mem}-L_{TES})/2$.

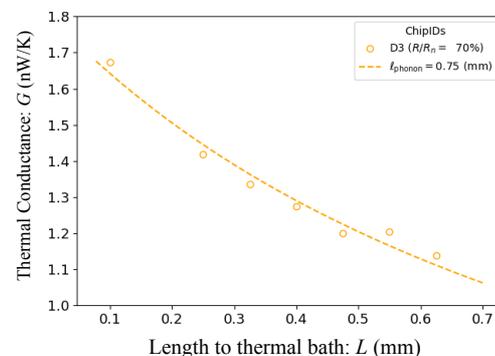


Fig. 2 Thermal conductance (G) of the tri-layer membrane as a function of length to thermal bath, L . Open circles & dashed line denote experimental & theoretical relations given by Eq. (1) with $\ell_{ph}=0.75$ mm, respectively. TES resistance was 70% of its normal resistance.