

マイクロ波多重回路による 38 画素超伝導転移端検出器の低雑音読出

Low-Noise Readout of 38-pixels Transition Edge Sensors with Microwave Multiplexers

産総研¹, 宇宙航空研究開発機構², 首都大学東京³, オランダ宇宙研究所⁴

中島 裕貴^{1,2}, 平山 文紀¹, 神代 暁¹, 山森 弘毅¹, 永沢 秀一¹, 佐藤 昭¹,
山田 真也³, 早川 亮大^{1,3}, 山崎 典子², 満田 和久², 永吉 賢一郎⁴, 赤松 弘規⁴

AIST¹, JAXA², TMU³, SRON (Netherlands Institute for Space Research)⁴

Y. Nakashima^{1,2}, F. Hirayama¹, S. Kohjiro¹, H. Yamamori¹, S. Nagasawa¹, A. Sato¹,
S. Yamada³, R. Hayakawa^{1,3}, N. Y. Yamasaki², K. Mitsuda², K. Nagayoshi⁴, H. Akamatsu⁴

E-mail: s-kohjiro@aist.go.jp

はじめに 計数率増大・短時間イメージングを目指した超伝導検出器多画素化において、多画素検出器の読出配線数と配線経路の極低温への流入熱低減のための超伝導多重読出回路は、鍵技術である。マイクロ波帯周波数多重法(MW-Mux)は、他の多重法に比べ広帯域ゆえ、1本の読出線への多重化画素数 U の1桁以上の増大が期待されており、比較的低速のガンマ線超伝導転移端検出器(TES)カロリメータで $U=128$ が実現[1]され、ミリ波 TES ボロメータでは $U \approx 2,000$ の開発[2]が進められている。一方、読出雑音 $\sqrt{S_i}$ [A/ $\sqrt{\text{Hz}}$] は、常伝導抵抗 $R_N \approx 10 \text{ m}\Omega$ で光子入射に対するパルス波高電流値 I_p の大きい TES に対しては、TES 出力電流雑音より充分小さく、エネルギー分解能 ΔE への寄与は無視できた[1][2]。しかし、この $\sqrt{S_i}$ 値は、DC-SQUID の単画素 TES 読出の値に比べ1桁悪く、 $R_N \approx 100 \text{ m}\Omega \cdot$ 小 I_p 値の TES の低雑音読出は未踏であった。また、ガンマ線やミリ波 TES より約1桁以上高速の X 線 TES の $U \geq 30$ の低雑音読出報告も皆無であった。私達は、世界で初めて双方に成功したので、報告する。

実験 1024 画素 X 線 TES(オランダ宇宙研開発; $R_N \approx 100 \text{ m}\Omega$, 臨界温度 $\approx 0.1 \text{ K}$) [3]、TES と強結合の MW-Mux($U=40$) [4]、両者間信号線路と TES バイアス抵抗を搭載する Interface の3種チップを、5.9 keV 発光 Fe 線源を内蔵する銅製モジュールに実装の上、極低温用高透磁率材の磁気遮蔽筒に内蔵し、断熱消磁冷凍機で $< 0.1 \text{ K}$ に冷却した。また独自開発の画素数スケラブルな室温読出回路[5] 1 系統を用いた。

結果 & 考察 図1に 38 画素毎の ΔE を示す。 $\square$ は ΔE 実測値、赤実線は、 I_p の時間積分値(TES 応答関数を反映)および $\square$ 測定時と同じ条件に TES バイアスと MW-Mux 励起マイクロ波電力を与えた時の系の雑音電力(NEP)とを基に計算した ΔE 、青実線は、入射光子に不感な TES バ

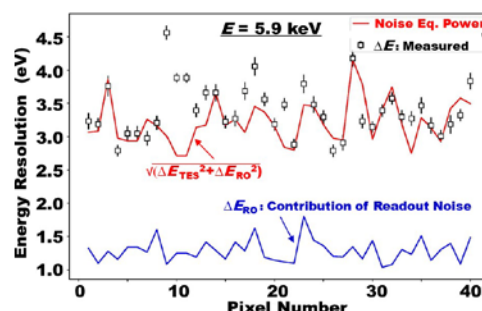


Fig. 1 Pixel dependence of ΔE . $\square$ denotes measured ΔE , red line ΔE calculated from the response function of TES and system noise equivalent power (NEP), and blue line ΔE_{RO} (contribution of readout noise).

イアスを施した時の NEP に基づく ΔE ($\approx$ 読出回路の寄与 ΔE_{RO}) である。図1より以下がわかる。(1) 38 画素全てで $2.8 \leq \Delta E \text{ (eV)} \leq 4.6$ を得た。これは、 $E=5.9 \text{ keV}$ に対し $E/\Delta E \geq 1 \times 10^3$ を満足し、MW-Mux による X 線 TES 読出画素数も $R_N \approx 10 \text{ m}\Omega$ の報告値[6]を凌ぐ。(2) 多くの画素において、 $\square$ と赤実線の ΔE は近接する。これは、冷凍機の温度ゆらぎやバイアス電流ゆらぎが低く、系の安定性が高いことを意味する。(3) 38 画素全てで $1.0 \leq \Delta E_{RO} \text{ (eV)} \leq 1.8$ を得た。TES の本質的雑音の寄与 ΔE_{TES} 、TES と読出回路以外の要因(系の不安定性等)の寄与 ΔE_{OT} を用いると、

$$\Delta E^2 = \Delta E_{TES}^2 + \Delta E_{RO}^2 + \Delta E_{OT}^2$$

と書ける。38 画素全てが、 $\Delta E/(\Delta E^2 - \Delta E_{RO}^2)^{0.5} \leq 1.16$ を満たす。すなわち、 $R_N \approx 100 \text{ m}\Omega$ の TES に対し、読出雑音による ΔE 増加を 16% 以下にとどめることに成功した。

謝辞 科研 JP18H01260, JST-CREST JPMJC17N4 MW-Mux チップ試作: 産総研 CRAVITY

文献 [1] J. Mates et al., APL., **111**, 062601 (2017).

[2] B. Dober et al., Appl. Phys. Lett., **111**, 243510 (2017).

[3] K. Nagayoshi et al., doi10.1007/s10909-019-02282-8.

[4] Y. Nakashima et al., IEEE T.A.S., **29**, 2100705 (2019).

[5] S. Kohjiro et al., Super. Sci. Tech. **31**, 035005 (2018).

[6] W. Yoon et al., J. Low Temp. Phys., **193**, 258 (2018).