

# 電圧国家標準のためのジョセフソン接合素子チップ

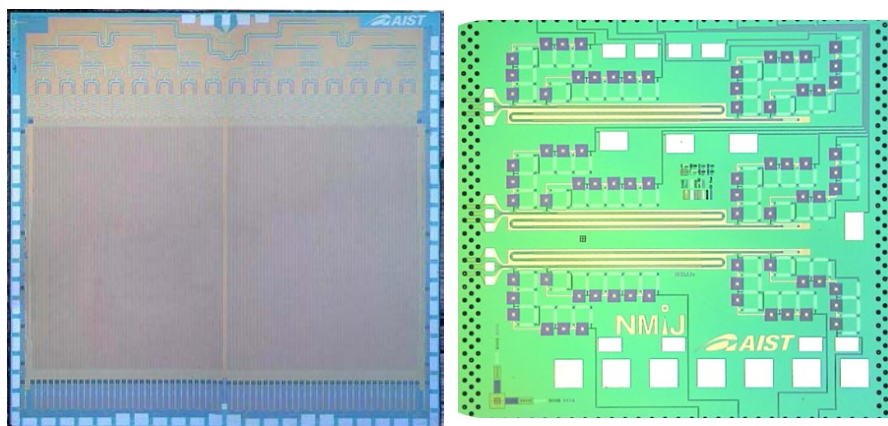
## 超電導エレクトロニクスと 国家標準の関係

テレビやパソコン、携帯電話など、身の回りにある多くの機器は電気によって動きます。この電気の大きさや電圧計などを用いて測ることができます。例えば、乾電池に電圧計をあてると約1.5 Vの値が表示されますが、その表示値が正しいことはどうやって保証されるのでしょうか？メーカーなどに依頼すれば電圧計を校正して、その電圧計が示す値の正確さをある範囲で保証することが可能です。この校正作業のためには、世の中で常に一定の値を示す普遍的な基準が必要で、その大本にあたるのが国家標準です。

では、電圧の国家標準は現在、どのように実現されているのでしょうか。実はジョセフソン接合と呼ばれる超電導の回路素子が使われています。この素子チップにマイクロ波を入力すると、その周波数に正確に比例した電圧ステップが生じます。この現象を利用して、直流電圧の国家標準(1 V、1.018 V、10 V)が実現されています<sup>[1]</sup>。このようなジョセフソン接合を用いた標準システムを、社会のニーズに合わせて、さらに機能的なものに拡張しようという研究が今、世界中で行われています。その実現には、システムの高度化や精密測定技術に加え、超電導素子の高度な作製技術が不可欠であり、産総研では、計測標準研究部門とナノエレクトロニクス研究部門が共同で技術開発を進めています。

## ジョセフソン接合素子チップ

素子チップの作製には、半導体集積



(左) 約52万個の接合を集積した10 V出力PJVS用チップ(15 mm角)。上部中央からマイクロ波が入力され、スプリッタを介して各接合アレイに分配される。  
(右) パルス駆動用チップ(5 mm角)。左側の端子から高速パルス電流が入力され、接合アレイ内を伝搬することで量子交流電圧波形が生成される。

回路の作製プロセスと同様の真空成膜や微細加工技術が用いられますが、Nb(ニオブ)やNbN(窒化ニオブ)などの超電導材料を高品質の多層膜に成膜したり、原子レベルの薄く均一なトンネルバリアを多層で形成するなど<sup>[2]</sup>、超電導回路特有の難しさがあります。産総研は、共同研究先である(公財)国際超電導産業技術研究センターとともに、超電導集積回路作製技術をもつ世界でも数少ない機関の一つとなっています。いくつか提案されている次世代電圧標準の候補の中で、産総研では、例えば、任意の直流電圧や比較的低周波(~kHz)の交流電圧を出力できるプログラマブル型ジョセフソン電圧標準(PJVS)(図左)や、超低ひずみの理想的な量子交流波形(~MHz)を生成できるパルス駆動型ジョセフソン電圧標準(図右)な

どが開発されています。現在までにこれらの素子チップを用いて、10 Vまでの任意電圧発生や量子交流波形生成実験<sup>[3]</sup>などに成功しています。

## さらなる応用の広がり

今後は、より高い電圧を出力するための接合数増加や高周波特性の向上、海外の標準研究機関への素子チップ供給、冷凍機実装などを含む標準システムの開発や高度化を進め、交流電圧標準(低周波、高周波)、波形標準、量子熱力学温度計、リニアリティ評価システム、ポータブル量子電圧源など、多彩な応用に向けた研究開発を行っています。

計測標準研究部門  
電磁気計測科  
まるやま みちたか  
丸山 道隆

## 参考文献

- [1] Y. Murayama et al.: *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 46, 233-236 (1997).
- [2] H. Yamamori et al.: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 17, 858-863 (2007).
- [3] C. Urano et al.: *Supercond. Sci. Technol.*, 22, 114012 (2009).