

# 集積量子化ホール抵抗素子の開発

## 次世代量子抵抗標準にむけて



大江 武彦

おおえ たけひこ  
t.oe@aist.go.jp

計測標準研究部門 電磁気計測科  
電気標準第2研究室  
研究員  
(つくばセンター)

電気標準は本文中の量子ホール効果（直流抵抗）とジョセフソン効果（直流電圧）という2つの量子効果を起点としており、半導体プロセスや微細加工と密接にかかわっています。世界に数多く存在する標準研究所の中でも半導体プロセスを自分たちで行える研究所は産総研を含めわずかありません。その強みを生かし、他部門の助けを得つつ日本の量子標準を世界に発信していきたいと考えています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

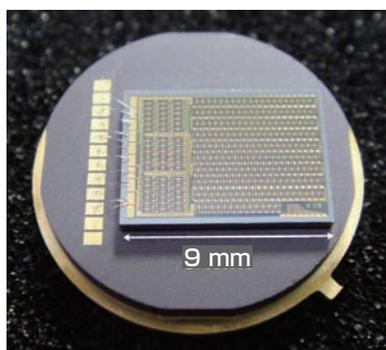
金子 晋久、浦野 千春、堂前 篤志、板谷 太郎、石井 裕之、藤野 英利（産総研）、桐生 昭吾（武蔵工大）

#### ● 参考文献

[1] 2008 Conference on Precision Electromagnetic Measurements Digest, 20-21.

### 量子化ホール抵抗素子を集積化

電気標準の中で、直流抵抗の標準は量子ホール効果を用いて実現されています。そこで発生する量子化された抵抗値は、量子力学で出てくるプランク定数と電気素量に依存し、12 906.403 5 Ωなどの「半端な」値となります。そのため、産業界で広く用いられる1 Ωや10 k Ωなどの標準抵抗器の校正には非常に高度な技術が必要でした。それを解決するため、量子化ホール抵抗素子を直列、並列に接続し集積化することで半端な値ではない「きちりとした」使いやすい抵抗値を発生させる技術が考えられました。非常に多くの量子化ホール抵抗素子を組み合わせれば、その集積化素子の持つ直流抵抗の公称値は10 k Ωなどのきちりとした値に近づきますが、逆に素子作製は困難になります。そこで私たちのグループでは、素子作製の歩留まりを保持したまま可能な限り使いやすい公称値を持つ素子構造の設計手法を開発しました。これを利用し、100 Ω、1 k Ω、10 k Ωなどの抵抗値を持つ、『集積量子化ホール抵抗素子』を作製・評価しています。その中で現在取り組んでいるのが、汎用のデジタルマルチメータの基準抵抗として採用されるなど需要が多く、また今後最も利用範囲が広がると思われる10 k Ωを発生する素子（写真）です。図は低温で



### 10 k Ω集積量子化ホール抵抗素子の外観

9 mm × 7 mmのチップ上に、266個の量子化ホール抵抗素子が集積されている。

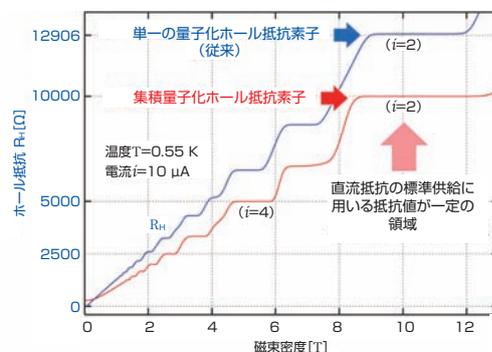
の対磁場特性で、単一の素子の場合（青線）、校正で利用する量子化抵抗値は、図中で一番広い階段状部分で発生しその値は12 906.403 5 Ωとなります。一方、集積量子化ホール抵抗素子の場合（赤線）、これがちょうど10 k Ωの所に出てきます。

単一の素子の場合、12 906.403 5 Ωを用いて、まず100 Ωなどの使いやすい値を持つ抵抗器を校正し、それから10 k Ωを校正しなければなりません。この集積量子化ホール抵抗素子を用いることで、10 k Ωの抵抗器を量子標準から直接校正する事が可能になり、校正プロセスを簡略化でき不確かさの小さな校正が実現できます。

なお、この集積化素子を用いた9桁レベルでの校正を可能とするため、素子作製にはさまざまな技術が利用されています。特に重要な点は多層配線間の漏れ電流を最小とすることで、そのために配線間絶縁膜として最適なポリイミド-シリカの複合絶縁膜をエレクトロニクス研究部門と共同開発しました。

### 今後の展開

この素子について、現有の国家計量標準との整合性の確認や、そのほかの抵抗値を持つ素子の開発、また量子ホール素子の交流駆動の研究なども行っています。今後これらの成果を標準供給に活かすことにより、産業界への貢献につなげたいと考えています。



### 量子化ホール抵抗素子の低温における対磁場特性

青線は単一の素子の特性を表しており、標準供給に用いる  $i = 2$  の抵抗値一定の領域は 12 906.403 5 Ωを示している。対して、10 k Ω集積量子化ホール抵抗素子（赤線）は、同じ磁束密度において 10 k Ωを示している。