

○中村文謙¹, 久保田洋二², 羽柴秀臣³

*Fumiaki nakamura¹, Youji Kubota², Hideomi Hashiba³

Abstract: Aharonov-Bohm effect(AB 効果)とは、電子が電界・磁界がない領域を通ったのにもかかわらず、ベクトルポテンシャルの存在により 1 電子自身の波動による干渉を示す。我々は超伝導 Aharonov-Bohm Ring(AB Ring)を作成した。本研究は、AB Ring のループを超伝導コーヒーレンス長まで縮小し、高い磁場感度を追及する。

1. 原理

Aharonov-Bohm effect(AB 効果)は、電界・磁界がない領域で、1 電子自身による干渉を示す効果である。この干渉は電子と平行なベクトルポテンシャル A に依存する。

マクスウェルはこの AB 効果を次のように考えた。彼は電磁氣的運動量 A を物理量と考え、電場 E や磁場 B を、単位電荷の粒子に働く“力”として定義した。電子が電子源の 1 点から発し、二つの異なった道をたどり、電子線バイプリズムを通して再び 1 点で出会う 2 本の電子軌道を考える[Fig. 1]。二つの軌道の位相差は、軌道に沿った A の線積分で表される。これにストークスの定理を用い、二つの電子軌道で囲まれた面を貫く磁束で表す[1]。コイルが無限に長ければ、コイルに電流を流しても外部に磁界は生じない。それなら、コイルの外部で A も存在しないかという、そうはいかない。ストークスの定理によれば、コイルをぐるりと周回する A の線積分が磁束に等しくなるので、どんなゲージをとっても A の回転成分が残るからである[2]。磁場をかけることにより運動量 P は次式のようになる。

$$p \rightarrow p + eA$$

電子は、コイルの外側の E や B のない領域を通っているにもかかわらず、電子の波動関数に位相差が生じ、干渉じまがずれることになる。式で表すと次式のようになる。

$$\begin{aligned} \theta_{AB} &= \int_A^S K \cdot dx \quad \therefore \Delta\theta_{AB} = \frac{e}{\hbar} \int_A^S A \cdot dx \\ \therefore \Delta\theta_{AB} &= \frac{e}{\hbar} \left[\int_A^S A \cdot dx_{(1)} - \int_A^S A \cdot dx_{(2)} \right] \\ &= \frac{e}{\hbar} \oint A \cdot dx = \frac{e}{\hbar} \int_{loop} B \cdot ds \\ &= 2\pi \frac{\phi}{\phi_0} \end{aligned}$$

ここで

$$\phi_0 \equiv \frac{h}{e}$$

となる。つまり、 A が観測可能な効果をもたらすことを意味している、こうして AB 効果はゲージ場の実在がそれだけで物理的効果をもたらすことを示す現象として、急に注目された[3]。

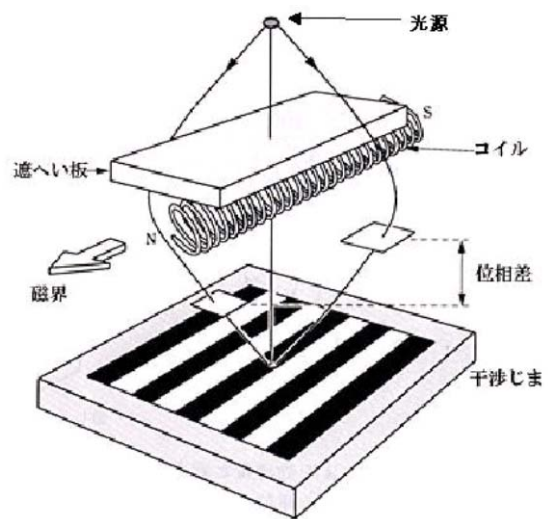


Fig.1 アハラノフ・ボーム効果概略図[1]

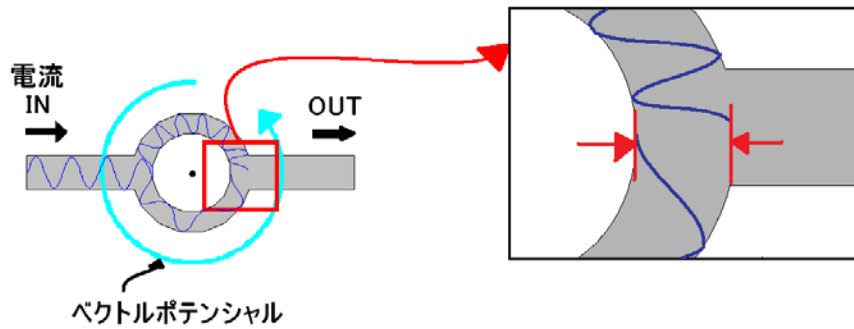


Fig.2 AB リング概略図。軌道に沿った A により、位相差が生まれる。

2. 作成

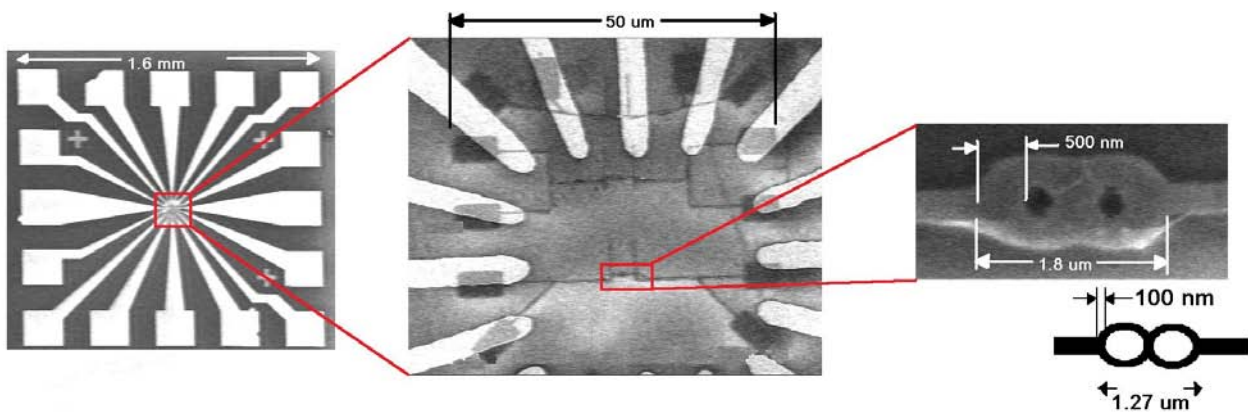


Fig.3 試料の SEM 画像。Au パッド(左図)の中央 100nm 四方フィールド上に Al 細線を作成した(中央)。Al 細線構造中心に AB リング構造がある(右図)。

AB リング試料作成は次のようになる。SiO 基盤上に、shipley 社製 photoresist S1830 をスピナーで 6000 rpm で塗布、90 °C の電気炉で 50 分間ベイクする。UV 露光でフォトマスク上の Au パッドパターンを描画する。shipley 社製 MF-319DEVELOPER でディベロップを行い、Water でリンスする。ケーサイエンス社製真空薄膜作製装置(E604)を用いて Ti を 50 nm、Au を 200 nm 蒸着させ、アセトンでリフトオフする。この Au パッドに AB リングを Al で作成する。Au パッド付基盤に Photoresist PMMA 6% を 4000 rpm で塗布し、170°C でベイクする。サンユー電子社製電子線描画装置を使い、High Voltage 30 kV、電流値 50 PA で AB リングパターンを描画し、MIBK:IPA(1:2)でディベロップする。ケーサイエンス社製真空薄膜作製装置を用いて Al を 50 nm 蒸着し、アセトンでリフトオフする。

3. まとめ

AB 効果の理論より、超伝導 AB リングを設計した。50 nm 厚の Al で AB リングをさくせいした。

4. 参考文献

- [1]外村彰,「電子情報通信学会誌」,83,12, pp906,Decenver(2000)
- [2] 外村彰,石黒邦子「Japan Nanonet Bulletin」 9, 3,11 (2003)
- [3] 外村彰,量子現象観測技術研究チーム、et al,「理研ニュース」, 10, 268, (2003).