

Title	先端加工と電子波デバイス
Author(s)	蒲生, 健次
Citation	大阪大学低温センターだより. 1987, 60, p. 9-12
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/10208
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

先端加工と電子波デバイス

基礎工学部 蒲生 健次 (豊中4571)

1. はじめに

超LSI技術を支える微細加工技術の発展は目覚ましく、すでにサブミクロンデバイスが実現され、さらにサブミクロン以下の極微加工技術の開発も進められるようになった。

表1は、固体中の電子の種々の特性長を示す。現在の極微加工技術では、すでに100nm以下の極微構造の製作も可能となっている。このような極微構造では、その寸法は、表1に示す電子の特性長と同程度またはそれ以下となる。このため、電子の振舞いは、幾何学的形状に規制されて種々の量子効果が現れる。このような量子効果は、基礎研究の立場からは、Mesoscopic Physicsとして興味を持たれ

表1. 極低温における電子の特性長

非弾性散乱長	l_{in}	$\sim 1 \mu\text{m}$
平均自由行程	l_e	$\sim 5 \text{ nm}$ (メタル) $\sim 50 \text{ nm}$ (半導体)
熱拡散長	l_T	$\sim 1 \mu\text{m}$
励起子径		$\sim 10 \text{ nm}$
フェルミ波長	λ_F	$\sim 0.1 \text{ nm}$ (メタル) $\sim 8 \text{ nm}$ (半導体)

ている。応用の立場からは、将来の極微電子デバイスの特性を理解する上でこの量子効果を解明する事は重要である。さらに、この量子効果を利用すれば、極微加工技術を用いて設計通りの極微構造を製作する事によって、単に縮小則で期待できるメリットではなく、全く新しい特性を人為的に作り出すことができ、これによってこれまでにない高機能のデバイスが得られる事が期待できる。

このような観点から、最近、研究が盛んとなり、多くの成果が発表されるようになってきた。我々も極微加工技術の開発を進め、理学部邑瀬教授、石田助教授らと共同で極微構造素子の量子効果の研究を行っている。本稿では、極微加工技術を中心としてわれわれの最近の成果を紹介する。

2. 極微構造の加工法と限界

図1に加工プロセスの例を示す。レジストパターンの描画は、従来法の光露光では回析効果で制約されるため、電子ビーム、イオンビームおよびX線を用いる必要がある。この場合、散乱、二次電子、回析効果等によって制限を受けるため、これらの影響を低減し最適の加工を行う必要がある。このため幾つかの方法が試みられ、特別な場合は、すでに数nmの極限パターン描画も可能となっている。描画したレジストパターンを用いて試料をエッチングし、極限構造を制作するためには、イオンエッチング法を用いる。

我々は、極微構造加工技術を開発するために、ナノメータ電子ビーム露光装置や集束イオンビーム装置等の新しい装置の開発を行っている。極微パターンの描画には数nm程度の極微集束電子ビームを用い、さらに電子ビームの散乱を減らす必要がある。このため、熱電界放出型電子銃を用いた最大加速電圧50

k e Vの高エネルギー露光装置を開発した。図2は、この装置を用いて描画したレジストパターンおよび製作したGaAs/GaAlAsヘテロ接合サブミクロンリング素子の例を示す。図2 aでは、線幅8 nmのパターンが描かれている。これは、高分子レジストを用いて描画された最小パターンである。レジスト分子の大きさ(～5 nm)および電子ビームの散乱から考えてほぼ加工の限界と思われる。

3. 電子波デバイスの可能性

極微構造素子中で顕著になる量子効果として、電子波の干渉効果がある。図3は、図2に示すサブミクロンリング素子の磁気抵抗を示す。周期の大きな磁気抵抗の揺らぎに重なって、周期の小さい振動が見られる。この素子の非弾性散乱長は、1 μm程度であるので電子波は波長

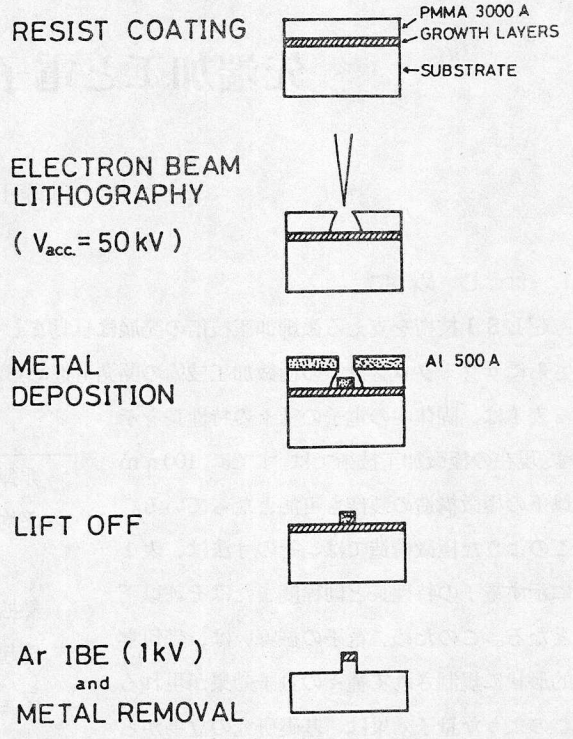
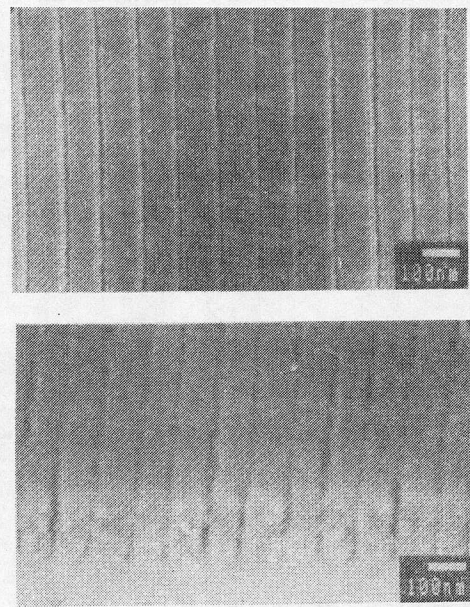


図1. 極微構造製作プロセス



←(a)

↓(b)

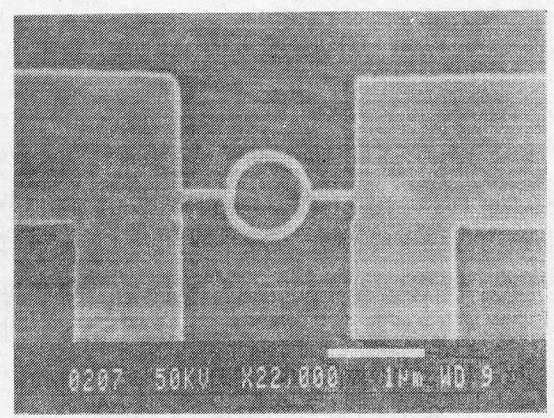


図2. (a) 50 k e V電子ビームで描画した線幅8 nmのPMMAレジストパターンの例
(b) 製作したGaAs/GaAlAsサブミクロンリング素子

が変わらずに素子中を伝播する。このためリングの1方より2に分かれた電子波は、他方のリングの出口でコヒーレントに干渉する。電子波の位相は、磁束密度によって変わり、 $B = \Phi_0 / S$ (Φ_0 : 磁束量子、 S : リングの面積) を周期として位相は 2π ずれる。したがって磁気抵抗も同じ周期で変化したものである。

この結果は、極微構造素子では電子波の干渉効果が顕著に現れることを示している。サブミクロンリング素子の動作は、Y分岐を用いて作られる光変調素子に似ている。Y分岐光変調素子では、2に分かれた光波の位相を電気光学効果でシフトし干渉を制御して合成波の強度を変調している。このような光導波素子では、単一モードが伝播するためモード間の変換もなく大きな変調ができる。一方図3では、変調の大きさは2~3%程度である。これは、光導波素子と異なり多モードの電子波が伝播しているためで、計算によってシングルモードにすれば光変調素子と同様に100%の変調が得られる事が示されている。したがって光波の干渉を利用した光導波素子と同様の動作原理、機能を持つ電子デバイスが期待できる。また、電界によっても大きな変調が得られる事が示されており、FETのような三端子素子としても期待できる。

このようなデバイスは、電子波の干渉を利用しており電子波デバイスと呼べるものである。

我々は、このような応用の可能性を追究するため、さらに微細加工を行い大きな干渉効果を得るべく研究を進めている。図4は、GaAs 極微細線のサブバンド準

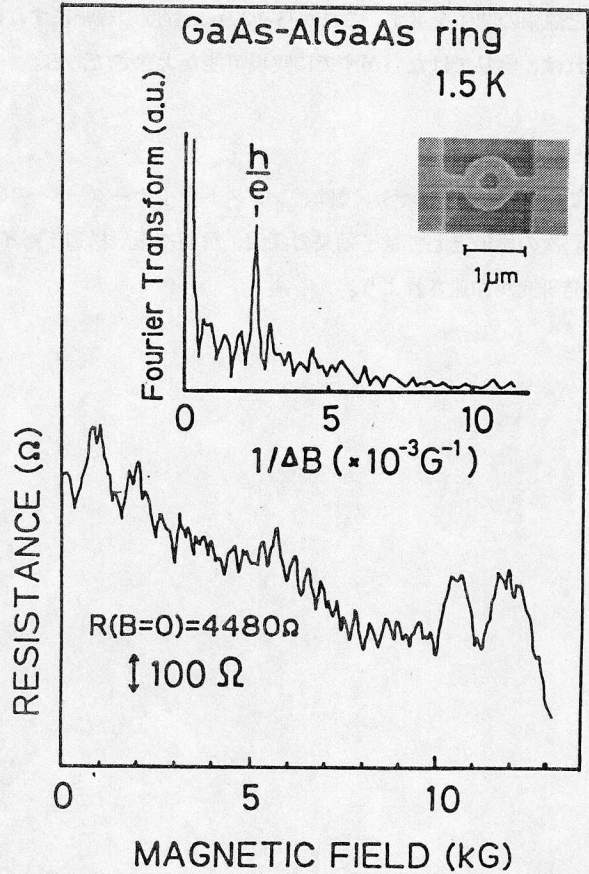


図3. GaAs/GaAlAsサブミクロンリング素子の磁気抵抗効果

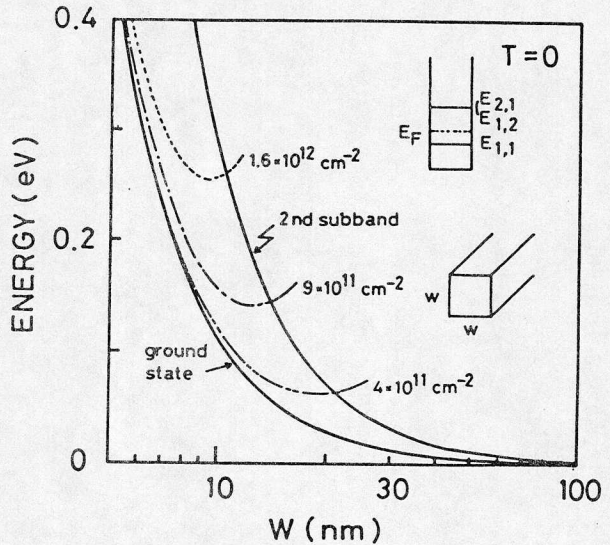


図4. GaAs極微細線幅とサブバンド準位およびフェルミ準位の関係

位と線幅の関係を示す。これから、30 nm程度の線幅にすればシングルモードになることが期待できる。これは、容易ではないがすでに実現可能な大きさである。

4. ま と め

このように研究レベルでは、レジスト分子オーダーや~10原子間隔の極限加工が可能になってきている。次の段階として量子効果の探索、解明や極限構造デバイスへの応用、実用的な極限構造加工技術の開発研究が加速されよう。