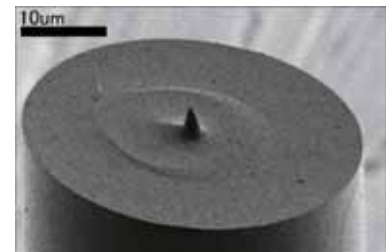


## 半導体素子評価のための 希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡の開発

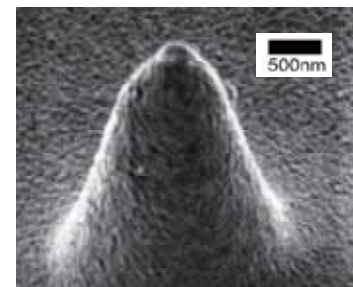
集束イオンビーム (FIB: Focused Ion Beam) 加工観察装置による支援をいただいた「希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡」についてご紹介します。近接場光学顕微鏡 (NSOM: Near-field Scanning Optical Microscope) [1] は、光の波長よりも小さい穴や球のまわりに局所的に発生する光を用いて、光の回折限界以下のものを観察する走査プローブ顕微鏡の一種です。近接場光学顕微鏡の性能を決める最も重要な要素が近接場プローブです。近接場プローブには、微小開口を有するファイバプローブを用いる方式、金属針による光散乱を用いる方式等が知られています。ここでは、光の照射と集光の両方に使用可能である微小開口を有するファイバプローブを用いる方式をご紹介します。この方式は、外部との光のインターフェースを光ファイバのみで一体的に行うことが可能なため、今回開発したクライオスタット中での極低温磁場中測定に適した方式です。

私たちは、光ファイバへの入射光から近接場光への変換効率の高い二段テーパ型 [2] の近接場プローブを用いました。これは、濃度の異なる複数の緩衝フッ酸溶液を用いて、二酸化ゲルマニウムを添加したコア径  $2.5 \mu\text{m}$  の石英光ファイバのエッチング条件を調整することによって実現されています。先端を先鋭化した光ファイバに厚さ  $150 \sim 200 \text{ nm}$  の金薄膜を回転機構をもつ蒸着装置を用いて均一にコーティングしました。図 1(a) に近接場プローブの走査型イオン励起二次電子 (SIM) 像を示します。先端開口径が小さいことはもちろんですが、それが真円に近いことが空間歪みの小さい画像を得るためには重要なファクターとなります。そこで、本研究では、FIB 加工観察装置を用いて先端の金薄膜の一部を切除することにより、近接場プローブ先端部分に真円に近い直径約  $100 \text{ nm}$  の開口部を作製しました。FIB 加工後の近接場プローブ先端部の SIM 像を図 1(b) に示します。

このような近接場光学顕微鏡を用いて今までに多くの研究がされてきました。例えば量子ドット中の波動関数の分布を試料温度  $9 \text{ K}$  において可視化した例が知られています [3]。波動関数の分布について調べるためには、熱による擾乱を少なくするために試料温度が小さい方が好ましいのですが、今までヘリウム温度である  $4.2 \text{ K}$  以下で近接場光学顕微鏡を動作させた例はありませんでした。さらに、磁場印加によりスピン偏極させることができると、より応用範囲を広げることが可能となります。そこで、私たちは、希釈冷凍機温度磁場中で動作可能な近接場光学顕微鏡を新たに開発しました [4]。図 2 にその希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡の外観を示します。ベース温度  $70 \text{ mK}$  の自作の希釈冷凍機の混合器の下の超伝導磁石のボア中に近接場顕微鏡が設置されています。近接場顕微鏡は、このように狭い空間に設置する必要があったため、近接場プローブと試料表面との間の距離の制御は、近接場プローブと一体化した水晶振動子の固有振動数が近接場プローブと試料表面との間に働



(a)



(b)

図 1. (a) 近接場プローブの走査型イオン励起二次電子 (SIM) 像  
(b) 近接場プローブ先端部の SIM 像



図 2. 希釈冷凍機温度磁場中  
近接場光学顕微鏡の外観写真

く力により変化することを利用して行いました。xyz 方向の微動は、チューブピエゾ素子を用いて行いました。他に、x-y 方向及び z 方向に独立にピエゾ素子を用いた粗動機構を具えてあります。

この希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡を用いることにより、例えば、半導体ヘテロ接合素子の試料端に形成されるとされる端状態の可視化が可能となると期待されます。半導体電界効果素子の面内方向の空乏層の分布や欠陥の分布を調べるにも有効です。さらには、円偏光を用いることによりスピントロニクス素子の評価にも有効であろうと期待されています。

筑波大学大学院数理物質科学研究科 物質創成先端科学専攻 野村晋太郎

[ 参考文献 ]

- [1] 大津元一、小林潔「近接場光の基礎」オーム社、2003 年。
- [2] T. Saiki, S. Mononobe, M. Ohtsu, N. Saito, and J. Kusano, Appl. Phys. Lett. 68, 2612 (1998).
- [3] K. Matsuda, T. Saiki, S. Nomura, M. Mihara, Y. Aoyagi, S. Nair, and T. Takagahara, Phys. Rev. Lett. 91, 177401 (2003).
- [4] H. Ito, Y. Shibata, S. Kashiwaya, Y. Ootuka, and S. Nomura, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (20-23, Jan 2009 Atsugi, Kanagawa, Japan); H. Ito, Y. Shibata, K. Furuya, S. Kashiwaya, Y. Ootuka, and S. Nomura, Physics Procedia (in press).

先端機器共用イノベーションプラットフォーム  
〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2  
独立行政法人 産業技術総合研究所  
ナノ電子デバイス研究センター  
TEL : 029-861-3210 FAX : 029-861-3211  
E-Mail: [ibec\\_info@m.aist.go.jp](mailto:ibec_info@m.aist.go.jp)  
<http://open-innovation.jp/ibec/>

