

群馬大学大学院理工学府

電子情報部門 曾根研究室

URL : <http://sonelab.ei.st.gunma-u.ac.jp/>

■ 研究テーマ

- ナノスケール材料の作製と新規デバイス開発
- ナノ加工技術による高感度バイオセンサの研究開発

■ キーワード

ナノメートル計測制御, プローブ顕微鏡, 電子顕微鏡, バイオセンサ, 結晶成長

■ 産業界の相談に対応できる技術分野

電子顕微鏡による表面形状計測, プローブ顕微鏡による表面形状・物性計測, 電子線及び集束イオンビームを用いたナノ加工, 結晶成長 (気相成長・固相エピタキシャル成長など)

■ 主な設備

走査プローブ顕微鏡, 電子顕微鏡, 集束イオンビーム加工装置, 電子線描画装置, 両面マスクアライナ, 拡散炉, 高周波スパッタリング装置, オージェ電子分光・SIMS装置, 半導体パラメータアナライザ



曾根逸人 教授

連絡先

理工学府電子情報部門 曾根逸人 TEL 0277-30-1719 FAX 0277-30-1719 e-mail hayasone@gunma-u.ac.jp

研究概要

ナノ加工技術で高感度バイオセンサなど新規デバイスを研究開発

当研究室では、走査プローブ顕微鏡や電子顕微鏡を用いた原子・ナノメートルスケールの計測およびその技術に応用したナノ材料加工と新規デバイス作製の研究を行っています。最近では、医療応用を目指した高感度バイオセンサの研究開発を進めています。研究室には、2019年4月に着任した張助教、大学院博士課程1名、修士課程7名、学部4年生4名が所属しています。これまでの主な研究を以下に紹介します。



図1 研究室メンバーと卒業生 (保坂名誉教授、卒業修士生を含む桐生川でのバーベキューにて)

特徴と強み

「原子スケール計測とナノ加工技術」

走査プローブ顕微鏡 (SPM) は、試料表面の精密な三次元形状が計測できる装置です。図2 (a) は、SPMの一種の超高真空走査トンネル顕微鏡 (STM) を使って観察したシリコン (Si) 表面の画像です。明るい粒子状に見える1つ1つがSi原子で、清浄なSi(111)の表面に現れる特徴的なパターン配列が観察できます。右上から左下に帯状の構造が見えますが、これは原子スケールの段差 (ステップ) で、左側が高く右側が低くなっています。これは、超高真空という特殊環境で観察できる構造ですが、研究室には大気中や溶液中でナノ構造が計測できる原子間力顕微鏡 (AFM) もあり、デバイスや生体試料を観察しています。

また、走査型電子顕微鏡 (SEM) は、電子線を集束させて試料表面の任意の位置に照射できるので、この技術を利用してナノスケールの加工を行っています。図2 (b) はAFMに使用するカンチレバ (片持ち梁) の探針先端に電子線を照射して、ガス分解でカーボンナノ探針を形成させた結果です。三角錐状のAFM探針が上向きに置かれ

ていて、その先端に直径約30 nm、長さ約1 μmの探針が形成されています。

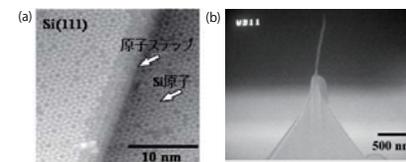


図2 (a) Si(111)表面のSTM像, (b)電子線照射で形成したカーボンナノ探針

「ナノ加工技術で高感度バイオセンサを研究開発」

微量物質の検出技術は様々な分野で必要とされています。特に医療やバイオ分野では、化学物質や生体分子を簡便かつ高感度に検出する技術が求められています。しかし、既存技術では簡易装置は感度が低く、高感度装置は時間とコストがかかることが課題です。

当研究室では、ナノメートルスケールの計測加工技術を基にして、マイクロカンチレバやSiナノワイヤを用いたバイオセンサを研究開発しています。カンチレバ型センサは、表面に生体分子などが付着すると共振周波数が減少するので、周波数変化から付着物質の質量が測定できます。図3 (a)は保坂純男名誉教授、医学系研究科和泉孝志特任教授、(株)東京測器研究所と共同開発したバイオセンサの試作装置です。これを用いて、アレルギー関連物質の抗原と抗体を測定した結果、約200 fg/Hz (fg:フェムトグラム, 10⁻¹⁵ g) という既存の水晶振動子センサより100倍以上の高感度で抗原抗体を検出することができました。

一方、Siナノワイヤセンサは、トランジスタのチャネル部を細線化した構造で、その内部を流れる電流変化から、ナノワイヤ表面に付着した抗体やDNAなどの生体分子を検出するセンサです。我々は、集束イオンビーム (FIB) 装置や電子線描画装置を用いて幅約90 nm、長さ約20 μmのSiナノワイヤを作製し、5.6 fM (10⁻¹⁵ mol/L) の超低濃度IgG抗体の検出に成功しました。

「体外受精卵のクオリティ選別を目指したマルチ卵重計の創製」

日本では少子化の進行と高齢出産の増加が問題となっています。そのため不妊治療が増加していますが、体外受精卵の選別は主に形態評価によるため、成功率が低いことが課題です。そこで、受精卵の定量的評価を目指して、東京大学工学研究科の坂田利弥准教授と共同で、カンチレバセンサを用いた受精卵の質量測定と放出されるイオン濃度の同時測定ができるマルチ卵重計の研究を行っています。カンチレバは平坦な板バネなので、集束イオンビーム (FIB) 装置で穴加工やカーボン堆積による板を形成して、受精卵を搭載保持できるホルダ型カンチレバを作製しました。図3 (b)は、培養液中でマウス受精卵を搭載した画像です。受精卵搭載前後のカンチレバの共振周波数変化から質量を計算すると44 ngが得られました。しかし、この値は受精卵の固定が不十分のため、全質量が測定できていないと考えています。現在、受精卵の固定法、カンチレバ変位測定システムなどの研究を進めています。

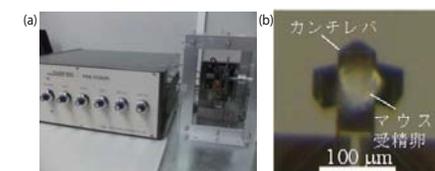


図3 (a) 超高感度バイオセンサ試作装置外観, (b) マウス受精卵搭載カンチレバ

今後の展開

「実用的な新規デバイス作製を目指して」

これまで研究してきたナノスケール構造の作製と評価技術を生かして、各診療機関に設置してもらえるような、小型で安価、しかも高感度で迅速に結果が出る高感度バイオセンサを実現させたいと考えています。それには、シミュレーションによる構造や特性の解析を行いつつ、新規機能を付加して、各種センサの最適化を進める予定です。