

偶然と手違いからの研究着想体験

Research inspiration experiences from coincidence and misunderstandings

清水 淳

Jun SHIMIZU

Key words : serendipity, nanoelectrode lithography, surface texturing, vibration-assisted cutting, friction and wear

1. はじめに

共同連載講座を通じ、世の中にあるセレンディピティの好事例はいくつも紹介されているため、筆者の体験談のみに紙面を割かせていただく。筆者は、“ひょうたんから駒”，がセレンディピティのわかりやすい表現と思っているが、以下、それに属するであろう 2 つの体験談を紹介する。

2. ばりと MEMS、結びつく？

当学会では、ばりや掘起しを砥粒加工技術により取り除きスムーズな表面を得ることが重要ミッションとされるが、いかにせん機械加工では加工単位が大きくなるほど、ばりや掘起しを抑制することが難しくなるのも避けがたい事実である。

2007 年当時、研究室には走査型プローブ顕微鏡が導入され数年が経ったところで、装置上で先鋭化された導電性カンチレバプローブを単結晶シリコン試験片表面に接近させてお互いの間に電流を流せば、水のメニスカスを介し陽極酸化によりシリコン表面が nm オーダで盛り上がるという、プローブ陽極酸化¹⁾なる現象も体験できるようになっており、体験しては面白いと感じていた。一方、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の分野において、プローブ陽極酸化の展開である、ナノ電極リソグラフィー技術²⁾が開発され数年でもあり、大面積にナノパターンを創成する優れた手法と感じていた。そこに、銅などのマイクロ機械加工現象の解明を目的としてグループで遂行していた、電子顕微鏡内での微小引っかき実験において、組織や結晶の境界で引っかき痕の寸法などが変化するという現象³⁾を目にしていたなか、微小な引っかき溝であっても、切りくずが成功裏に排出されていれば溝の両肩にさらに微小かつ先鋭化されたばりが生成することも体感していた。

忌み嫌われるばりや掘起しであるが、とくにばりは微小かつ先鋭化していることから、ばりとナノ電極リソグラフィーが結び付けられれば、加工やトライボロジー分野ではユニークとみなされるのでは、という偶然のめぐり合わせから、下地の業績も乏しいなか、萌芽研究で採択されれば礎は築けるのでは、との野望に至った。結果、運よく 2008 年度に採択された。

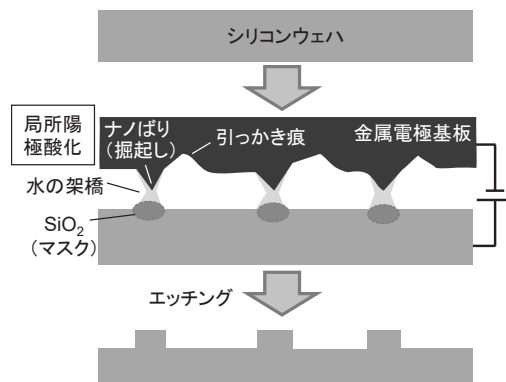
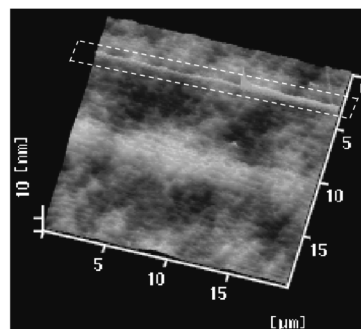
図 1 は着想時のナノばり電極リソグラフィーの断面モデルである。微小引っかきにより生成する nm オーダのばり列を複数並べて金属電極基板を製造し、それをシリコンウエハに近接させつつ電圧を印加し、SiO₂ のマスクパターンを作製する。その後、エッチングでシリコンを適宜除去し、ラインアンドスペースパターンを得るものである。図 2 は無酸素銅電極上の引っ

かきにより得られたナノばり電極により電極リソグラフィー試験した後の、単結晶シリコン試験片の走査型プローブ顕微鏡観察結果の一例⁴⁾である。局所陽極酸化による SiO₂ 化に伴う体積の増大により、数 nm オーダで隆起した線状パターンが観察できる(矩形の破線内)。

しかしながら、NC 旋盤上で多数の微小引っかきにより無酸素銅試験片上に安定して微小なライン状のばりパターンを創成することと、電極とシリコンウエハとを nm オーダで接近させたうえで局所陽極酸化を実現させることは色々な問題から難しかったため、残念ながらさらなる進展は得られなかった。

3. 振動方向、それで合ってる？

2010 年 3 月から運よく学振の支援で豪州のクイーンズランド大学で 9 か月ほど研究訪問させていただける機会があり、修士学生数名を周立波教授はじめ研究グループの先生方に押しつけ、海外修行することになった。同時に、微小振動援用切削による表面テクスチャ加工とその応用に関するテーマ

図 1 ナノばり電極リソグラフィーの断面モデル⁴⁾図 2 ナノばり電極リソグラフィーによるナノ隆起パターン⁴⁾

で基盤研究(C)が採択され、より緻密なテクスチャパターンの創成と加工効率の向上のため、三角錐ダイヤモンド圧子工具を微小振動させるアクチュエータを導入することとなった。これ以前は、NC 制御 3 軸加工機を駆使し、図 3 に示すように面内方向にジグザグな工具軌跡を与えて切削することで、微小溝パターンを組み合わせたテクスチャ表面を創成し、表面積の増大を成し得ていた⁵⁾。その後の展開として、図 3 のジグザグ軌跡を他の状態のもの(正弦波状など)にし、さらに高周波化や振幅の増減などを試すつもりであった。

豪州と日本のグループの先生方との打合せは、数か月おきに毎回 1 時間未満の簡単なものであった。にもかかわらず、勝手に上述の目論見を先生方に理解頂けたと思ひ込み、グループの先生方に一任してしまった。帰国後、装置セットアップを確認したところ、面内方向ではなく、平面に垂直な方向に工具が振動するようになっていた(図 4 参照)。最初は、工具圧子が鋭利すぎるので初期表面を得るのに苦労しそうだとか、切りくずがどう排出され加工パターンがどうなるのかなども不明で、見通しをたてにくく、対策を考えねばと思ったが、数日後には、せつくなのでこのまま試そうとの考えに至った。

図 4 のセットアップを利用し三角錐ダイヤモンド圧子でテクスチャ加工を学生に試みてもらおうと、図 5 に示すように、複雑なテクスチャ表面を得られることが判明し、目標としていた酸化チタンの光触媒機能の向上にもつながった⁶⁾。このテクスチャ加工技術は、トライボロジー分野に展開され^{7,8)}、オンマシンで One stop ばり鏡面切削が可能という利点もみつき、乾式すべりにおける摩擦低減に有効なことが確認されるなど、研究の進展に貢献している(図 6 参照)。

4. おわりに

本稿では、偶然のめぐり合わせで着想に至った例と、手違いの末に期待より優れた成果が得られた例を紹介した。前者は成功例とはいいいく部分もある。後者は、ひょうたんから駒というより、怪我の功名に近かったかもしれない。ただ、どちらも意外なことがきっかけとなって研究が進んだ例である。いずれにせよ、うまくいくか不明だったり、無駄かもしれないと思ったりすることはあると思うが、試してみないとわからない、という精神で研究を進めることは、大事なのであろう。

最後に、本稿が読者の方々の何かしらの役にたてることを祈る次第である。

5. 参考文献

- 1) J. A. Dagata, J. Schneir, H. H. Harary, C. J. Evans, M. T. Postek, J. Bennett: Modification of hydrogen-passivated silicon by a scanning tunneling microscope operating in air, Appl. Phys. Lett., 56, 20 (1990) 2001.
- 2) A. Yokoo: Nanoelectrode Lithography, Jpn. J. Appl. Phys., 42, 2A (2003) L92.
- 3) H. Taniyama, H. Eda, L. Zhou, J. Shimizu, J. Sato: Experimental Investigation of Micro Scratching on the Two-Phase Steel (Plastic Flow Mechanisms of the Ferrite and Cementite Phases), Key Eng. Mat., 238-239, (2003) 15.
- 4) J. Shimizu, N. Suzuki, L. Zhou, T. Onuki, H. Ojima, T. Yamamoto, H. Huang: Development of electrodes with micro ploughing Patterns for MEMS Applications, Extended Abstracts of International Tribology Congress (ASIATRIB 2010), (2010) 1162.
- 5) J. Shimizu, G. Kobayashi, N. Hasegawa, T. Yamamoto, H. Ojima, T. Onuki, L. Zhou: Influence of Surface Micro Texture on Photocatalytic Function of Titanium Dioxide Film, Mat. Sci. For., 706-709, (2012) 2646.

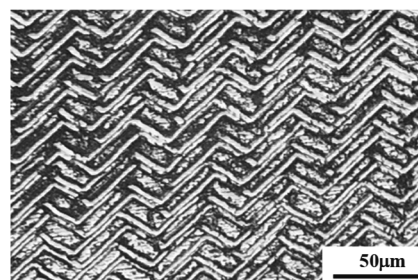


図 3 アクチュエータ導入前のテクスチャ表面⁵⁾

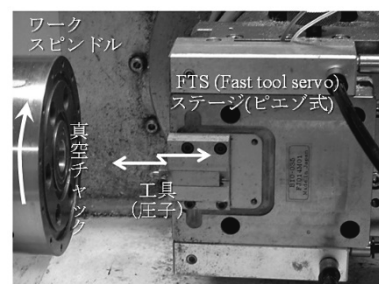


図 4 アクチュエータ導入後の加工ヘッド部

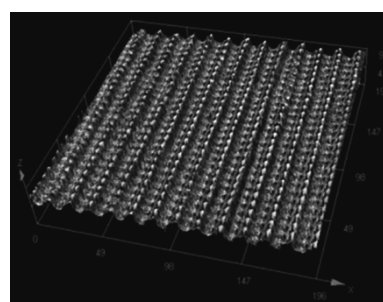


図 5 チタン表面上のテクスチャ⁶⁾

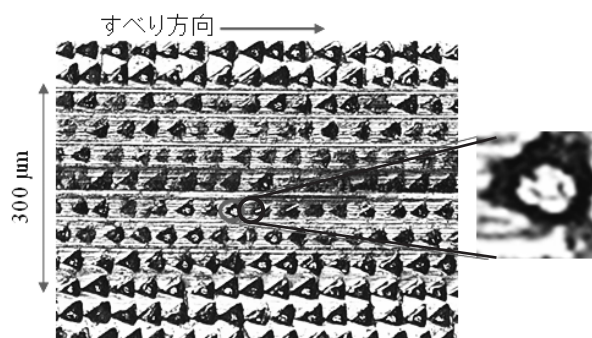


図 6 テクスチャ面上の摩耗痕と摩耗粒子トラップ⁷⁾

- 6) J. Shimizu, T. Yamamoto, T. Onuki, L. Zhou, H. Ojima: Development of Microtextured Photocatalytic Surface by Vibration-assisted Scratching, Mat. Sci. For. 783-786, (2014) 1488.
- 7) J. Shimizu, T. Nakayama, K. Watanabe, T. Yamamoto, T. Onuki, H. Ojima, L. Zhou: Friction characteristics of mechanically microtextured metal surface in dry sliding, Tribol. Int., 149, (2020) 105634.
- 8) J. Shimizu, T. Yamamoto, K. Kaneko, L. Zhou, T. Onuki, H. Ojima: Dry sliding characteristics of metal surfaces with periodic arrangement of dimple-like patterns textured by vibration-assisted cutting, J. Jpn. Soc. Abrasive Technol., 67, (2023) 218-223 (in Japanese).



【清水 淳】(しみず じゅん)
・茨城大学
・e-mail: jun.shimizu.nlab@vc.ibaraki.ac.jp