

マイクロ・ナノ融合加工技術研究会

マイクロ・ナノ融合加工技術研究会は、最新の微細加工技術(半導体加工技術及び精密加工技術)のシーズ発信と参加企業の固有技術の融合を図り、新たな技術提携の場を提供することを目的に年4回の例会を開催しています。各例会では、各種加工技術に関するテーマを設定し、これに関する研究シーズや将来の方向性を大学等の研究者からご提案いただくと共に、製品開発の立場から、関連企業の技術者から先進事例等について発表いただいています。

〈研究会概要〉

主 催 京都市中小企業技術センター、社団法人京都経営・技術研究会
 定 員 40社程度
 コーディネータ 立命館大学 教授 杉山 進 氏(京都府特別技術指導員)



第3回研究会にて、「ウェットエッチング加工の基礎と応用」をテーマにご講演いただいた概要をご紹介します。

教科書では教えてくれない結晶異方性エッチングのサイエンス

名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授 佐藤 一雄 氏



マイクロマシニングにおける結晶異方性エッチングの位置づけ

マイクロマシニングとは微細な構造をつくる技術全般を指していますが、大きく分けるとシリコン基板そのものをエッチングして3次元構造体をつくる「バルクマイクロマシニング」、基板表面に違う種類の薄膜を積層し、最後にある部分の膜(層)をエッチングして基板から構造を分離する「サーフェスマイクロマシニング」、フォトリソグラフィ・エッチングで形成した形状の転写を行う「微細形状の型どり」があります。エッチングマスクの形状を反映して精密にエッチングをすすめる異方性エッチングの手段としては、大別してドライとウェットの2つのプロセスがあります。異方性ドライエッチングは反応物・粒子(イオン・原子)の運動の方向性によって異方性を得るもので、どんな2次元パターンでもエッチングでき、微細な加工が可能ですが高価な設備を必要とします。一方、TMAHやKOH等のアルカリ水溶液に基板を浸して行う結晶異方性ウェットエッチングは、特殊な3次元形状の加工が可能で、安価で時間による管理が容易なため、圧力センサや血圧センサ、自動車部品にも多く使われ工業上重要な役割を持っています。

状はシリコンの結晶構造で一義的に決まる」といったことが通説として書かれてきました。しかし、簡単な反応と思われる結晶異方性エッチングにも説明できない諸現象や様々なミステリーが存在しています。最近の技術の進歩、長年にわたる研究の成果により、今までとは違った見解がでてきました。

速いエッチング面を使った3次元加工

「結晶異方性エッチングの加工形状はSi(111)で囲まれた3次元構造である」という通説がありますがそうでもありません。以下の例は、皮膚から薬剤を浸透させるための針を密に配置したデバイスの加工例で、ある企業から製作を依頼されたものです。針の表面はSi(111)でなく、Si(110)、Si(100)など、比較的エッチングの速い結晶面で

旧来の教科書・解説書の記述には疑問がある

シリコンの結晶異方性エッチングによる3次元形状の形成は結晶構造に由来します。それは、シリコン単結晶の面方位による表面原子の結合の違いを利用したもので、結晶方位によりエッチング速度が2桁も異なります。旧来の教科書では、「シリコンのエッチング速度比、各結晶方面での速度の違いは表面原子のバックボンド数(※1)で決まる」「加工形状はSi(111)で囲まれた3次元構造である」「エッチング形

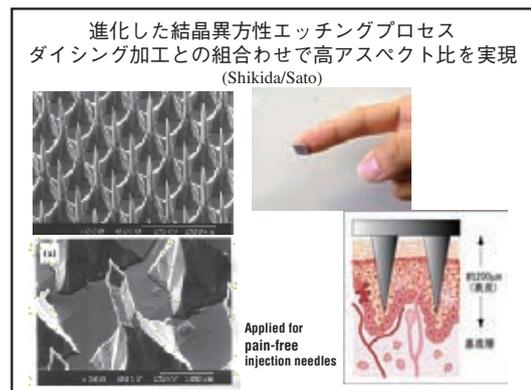


図1

す(図1)。このようにSi(111)以外の様々な方位を利用した3次元の加工が最近の研究から可能になってきました。

エッチングにおける異方性変化のメカニズム

「エッチング形状はシリコンの結晶構造で一義的に決まる」という通説も単純には言い切れません。シリコンの単結晶を研削、研磨して球状にすると全方位が顔をだします。これをエッチングして除去速度を3次元測定機を用いて測定すると、どの方位でどれだけエッチングが進んだかが把握でき、エッチング速度を等高線で表すことが可能です(図2)。青い部分はエッチングが遅く、黄色い部分が速い箇所ですが、等高線は結晶の方位によっていつも同じパターンになるのではなく、エッチング液を変えることによって違ったパターンになることがわかりました。例えば、TMAHとKOHの液ではパターンが変わります。Si(111)が深い谷を形成することやSi(100)が浅い谷を形成することは共通ですが、等高線に沿った形(赤線で強調)をみても三角形の向きが60度回転して違ってきます(図2)。さらに界面活性剤をエッチング液に加えると大きな差がでできます。この効果を応用すれば、これまでにない曲線パターンのエッチング等も可能になります(図3)。

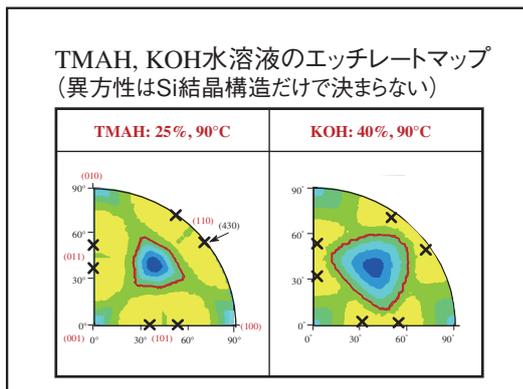


図2



図3: これまでにない曲線パターンのエッチング

「ダングリリングボンド数の呪術」解ける!

一般的にSi(111)の表面原子は、未結合のダングリリングボンド(※2)が1個だけで、3個のバックボンド(※1)は深く基板にアンカーされて安定していると言われていた(図4)、原子の静的な結合の強さだけでは除去速度という動的な現象を論じることはできません。シリコン基板表面は完全な平面でなく、必ず原子レベルの段差があり、その原

子ステップの活性は溶液の液種・濃度、添加物・不純物で逆転しうるので(図5)。段差がどれほど早くエッチングされるのかがエッチング速度を決めると考えることで、多くの疑問が氷解しました。理想表面のダングリリングボンド数だけでは除去速度を論じられないということが判ったのです。

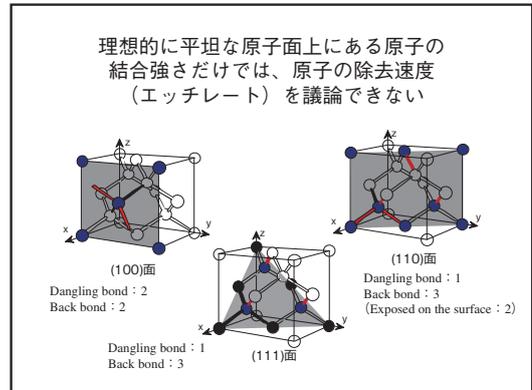


図4

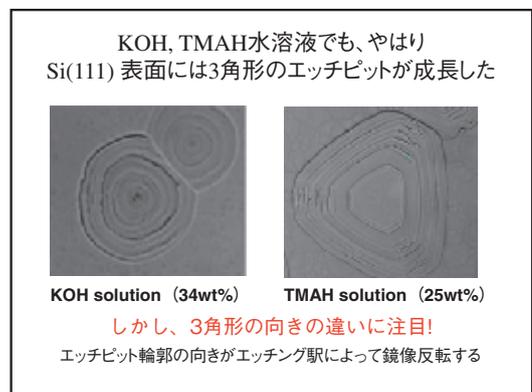


図5

まとめ

結晶異方性エッチングは古いとはいえ工業的に非常に重要な微細形状加工手段の一つです。Si(111)だけでのものづくりではなく、頭を柔らかくして他の結晶方位面との組合せによる複雑な形状加工面を考えれば、さらに幅広い応用展開が可能です。一方、液中の陽イオン(Cu)が原子ステップのエッチングに与える影響がヘルシンキ工科大学との共同研究で明らかになりました。また、先に紹介した界面活性剤の効果のメカニズムは東北大学との共同研究で解明されつつあります。異なる他分野(物理系・化学系)との共同研究は非常に重要で、異分野が協力すれば今まで分からなかったことが綺麗に説明できることがあります。専門分野を深めることも大事ですが、他分野の優れた拠点との横断的な協働が、MEMSのような新分野の発展に効果的だと考えています。

※1 バックボンド 結晶構造において、背面の固体原子と結合した肢のこと。
 ※2 ダングリリングボンド 結晶構造において、未結合の肢のこと。

【お問い合わせ先】

京都市中小企業技術センター
 応用技術課 表面・微細加工担当

TEL:075-315-8634 FAX:075-315-9497
 E-mail:ouyou@mtc.pref.kyoto.lg.jp