

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 半導体計測システム

September 1998 ■ No.17

ハイテク時代に見直される古代技術
—半導体結晶の加工を考える—

Ancient Technology considered in High-tech Age
—For Semiconductor Crystal Processing—

志村史夫
Fumio SHIMURA

(Pages 50—53)

株式会社 堀場製作所

ハイテク時代に見直される古代技術 — 半導体結晶の加工を考える —

Ancient Technology considered in High-tech Age - For Semiconductor Crystal Processing -



志村史夫

Fumio SHIMURA, Dr.Sci.

静岡理科大学教授
ノースカロライナ州立大学併任教授

< 略歴 >

- 1948年：東京・駒込生まれ
- 1974年：名古屋工業大学大学院修士課程修了(無機材料工学)
- 1974年：日本電気中央研究所勤務，半導体結晶物性などの研究に従事。
- 1982年：名古屋大学工学博士(応用物理)
- 1983年：モンサント・セントルイス研究所勤務，半導体結晶基礎物性の研究に従事。
- 1987年：ノースカロライナ州立大学勤務，半導体物性，電子材料の研究，半導体結晶評価技術の開発に従事。
- 1993年：静岡理科大学勤務，日本古代史，東洋思想，基礎物理などの研究に従事。現在に至る。

< 主な著書 >

- SEMICONDUCTOR SILICON CRYSTAL TECHNOLOGY(Academic Press)
- 半導体シリコン結晶工学(丸善)
- 材料科学工学概論(丸善)
- ハイテク・ダイヤモンド(講談社ブルーバックス)
- 古代日本の超技術(講談社ブルーバックス)
- ハイテク国家・日本の「知的」選択(講談社)
- 体験的・日米摩擦の文化論(丸善ライブラリー)
- 理科系の英語(丸善ライブラリー)
- 理科系のための英語プレゼンテーションの技術(ジャパンタイムズ)
- 文明と人間(丸善ブックス)

Not a few technologies which were performed in ancient Japan are remarkable indeed even from state-of-the-art engineering point of view. An example would be the one that produced magnificent carpentry, such as Horyuji-Temple built about 1,300 years ago and still exists in beautiful shape. The way of wood lumbering and trimming is surely one of the keys of the carpentry technology.

Turning to microelectronic device manufacturing, it is anticipated that the performance and the yield of higher-grade and higher-integrated microchips will most seriously depend on the state of the surface of base semiconductor crystals. That is, slicing and polishing the wafers would be a key technology in the field.

Considering both the technologies noted above, the author proposes that the "philosophy" found in the ancient carpentry should be applied to the processing of semiconductor crystals for future microelectronic devices.

現代文明の支柱は、いわゆる「ハイテク(高度先端技術)」であり、その一つは紛れもなく、半導体材料を基盤とするエレクトロニクスである。このエレクトロニクスを煎じ詰めれば、指先に乗るほどの大きさの「マイクロチップ」とよばれるものである。現在量産されている64M-DRAMでは、昔風にいえば、真空管6400万本にも相当する機能が、わずか2 cm²ほどの面積の中に「集積」されている。まだ研究所レベルではあるが、4G-DRAMでは、およそ10 cm²の面積の中に真空管40億本にも相当する機能が詰め込まれていることになる。1946年にアメリカで、18000本の真空管を使って作られた世界最初の電子式コンピューター「エニアック」の占有面積が81m²であったことを思うと、この間の「エレクトロニクス」の進歩の度合いは単なる驚き以上のものである。マイクロチップは、あらゆる分野の最先端科学・技術を駆使して作られているのである。そして、このようなマイクロチップが現代のありとあらゆる道具、機械、装置の中で頭腦的な役割を果たしているわけである。これからも、とどまることなく、いっそう多くの機能が「マイクロチップ」の中に詰め込まれていくに違いない。

私は、およそ15年間、結果的には、このようなマイクロチップに結びつく半導体材料に関する研究に従事したのであるが、いろいろ考えるところがあって(拙著『文明と人間』丸善ブックス)、およそ5年前にこの分野の第一線の研究から「引退」した。以来、一つには「ハイテク」の反動もあるうが、日本の古代(主として奈良時代以前)の工匠の「技(わざ)」に大いなる興味を覚え、いろいろと調べている。それらの中には、現代の「ハイテク」に長年従事してきた私を驚愕させ、感動させるものが少なくないのである(拙著『古代日本の超技術』講談社ブルーバックス)。「半導体特集」の本誌に求められた本稿では、それらの中から、古代の「木の加工法」を紹介したい。私はそこに、これからの最先端半導体結晶の加工のあるべき姿を見出すからである。

伐採した木を木材に加工するときに活躍する道具は 鋸^{のこぎり} である。鋸には縦挽きと横挽きのものがある。基本的に、前者は木材を繊維（木目、木理）方向に平行に、後者は垂直に切断するものである。柱や長い板材を得るには、縦挽き鋸が必要である。ところが、縦挽き鋸が日本に出現するのは室町時代になってからのことである。つまり、法隆寺や薬師寺が建てられた " 古代 " には縦挽き鋸はなかったのである。

それでは、どのようにして柱や板材を得たのか。

木材に楔あるいは楔型の割り鑿を打ち込んで、木目に沿って打ち割ったのである（これを「打ち割り法」という）。

打ち割り法で柱や板を製材するとなると、使われる樹種は檜（図1）や杉のように木目がきれいに真っ直ぐに伸びた良材に限られる。また、打ち割り法で製材できるならば、縦挽き鋸で製材するよりもはるかに迅速である。打ち割り法が優れているのは、時間的迅速性のみではない。それより、いっそう本質的な利点がある。

鋸によって木目に関係なく、あるいは木目を切断して製材するのは、たとえ外観は整っていても、木の性質、自然の姿を無視していることになるので、材に狂いが生じやすいのである。つまり、打ち割り法は、木の本来の性質のことを考えるならば、理想的な製材法なのである。

製材された木材のうち、外に見える柱や床板、壁板などの表面には仕上げ加工が必要であり、それに使われる道具が鉋^{かんな}である。われわれが普通に目にするのは台鉋あるいは電動鉋である。これらが木の表面を削る原理は同じである。

電動鉋も含め、台鉋は極めて効率よく木材を平滑な面に仕上げることができる便利な道具である。ところが、この台鉋が日本に出現するのも縦挽き鋸と同様、室町時代以降のことである。というより、台鉋は縦挽き鋸と一対になって登場したものである。台鉋の効率を高めるのが " 台 " なのであるが、鉋をかけられる木材の面が鋸で切断したような平らな面でないとい、台鉋の効能を活かせない。打ち割りした木材のような面に台鉋をかけるのは事実上不可能である。

台鉋や電動鉋は確かに便利で効率のよいものであるが、その加工原理は基本的に鋸のそれとまったく同じで、外観は平滑で美しいが、木の性質（木理）を無視し、木の繊維を無理やり切断する道具である。

台鉋がない時代、木材の表面の仕上げに使われた道具が手斧と槍鉋^{ちやうな}である。槍鉋は棒状の柄の先に、やや上に反った柳の葉あるいは槍先のような両刃の刃を取りつけた道具である（図2）。

打ち割りされた材は、まず手斧で粗仕上げされ、その面を仕上げるのが槍鉋である。槍鉋の先の刃に加わる力の大きさには人力の限界がある。槍鉋で堅い木目層を削るのは困難であり、削り取られるのは軟らかい層ということになり、その削り屑は図3に示すようにくると巻かれたものになる。また、当然のことながら、槍鉋がかけられた仕上げ面は台鉋による仕上げ面のように平坦にはならず、さざ波を打ったような形状になる。

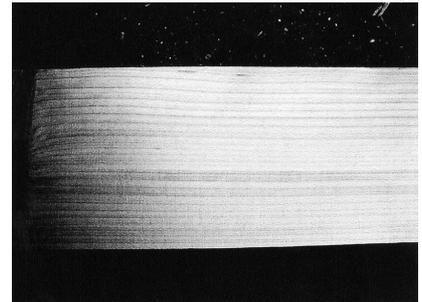


図1 檜の柁目
（農水省森林総合研究所・林知行氏提供）
Edge grain of Hinoki



図2 復元された槍鉋
（竹中大工道具館蔵、著者撮影）
Restored spearhead plane



図3 槍鉋をかけた檜の削り屑
（竹中大工道具館にて著者撮影）
Hinoki shavings with spearhead plane

ここで、いままでに述べた大工道具の歴史と加工木材表面の特徴を表1にまとめておこう。

表1 製材の歴史と加工表面の特徴
Historical features of lumbering and trimming of wood

	室町時代以前	室町時代以後
製材	楔/打ち割り	縦挽き鋸(大鋸)
表面荒仕上げ	手斧	台鉋(電動鉋)
表面最終仕上げ	槍鉋	台鉋(電動鉋)
加工表面の特徴	小波状凹凸 木繊維に従順	平滑・平坦 木繊維を無視

台鉋や電動鉋で削った面は確かに平滑、平坦で、見た目には美しい。しかし、削られた木の表面は木の繊維が切断されているので、木にとってはありがたくないだろう。槍鉋は台鉋に比べれば圧倒的に能率が悪い道具であり、その加工面も凸凹していて平滑な美しさはないが、それは自然(木理)に従順な状態にある。

さて、先述のマイクロチップの基盤となるのが半導体単結晶ウエーハである(SOIとよばれるデバイスには絶縁体基板が使われるが)。ウエーハは円筒状の単結晶インゴット(現在マイクロチップの量産に用いられているシリコン単結晶の最大径は200mmである)を数々のプロセスを経て、表面が鏡面状に研磨された厚さ0.7mmほどの円盤状にしたものである。その加工プロセスは基本的に木材の加工プロセスと同じである。つまり、鋸で切断し、“機械的・化学的鉋”で表面仕上げをするのである。

単結晶は原子が3次元的に規則正しく配列した固体である。図4はシリコン単結晶の模型を不特定の任意の方向から眺めた写真である。もちろん、ウエーハの切断はある特定の結晶方位に行われるのであるが、鋸刃と結晶を構成する原子の大きさを考えれば、実質的な切断は図4の結晶を真上から、つまり、結晶を構成する原子の配列を無視して行われることになる。続いて行われる表面加工も同様である。これはちょうど木理を無視して木を切断、鉋がけすることに相当する。

今後、マイクロチップに対するさまざまな要求がますます厳しくなることを考えると、私は、このような従来の結晶加工法は通用しなくなるのではないかと考えている。原子配列を究極まで“思いやった”表面加工が必要になるだろうと思う。

図4に示す結晶模型を特定の方向、例えば<110>方位から眺めると、図5のようなになる。このような原子配列を見れば容易に想像できることであるが、結晶は図中線ABで示す面、方向に簡単に割れる(このような性質を“へき開”という)。この現象は図1に示す檜などが木理に沿って打ち割りされる現象と本質的にはまったく同じものであり、自然に従

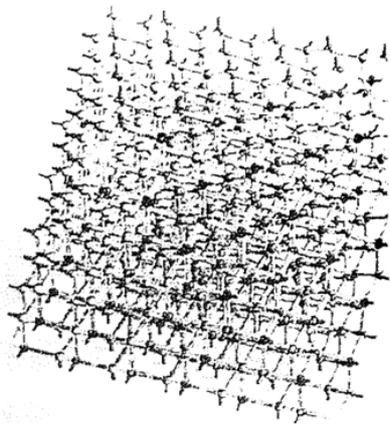


図4 不特定方向から見たシリコンの結晶模型
Silicon crystal model viewed from a non-specific direction

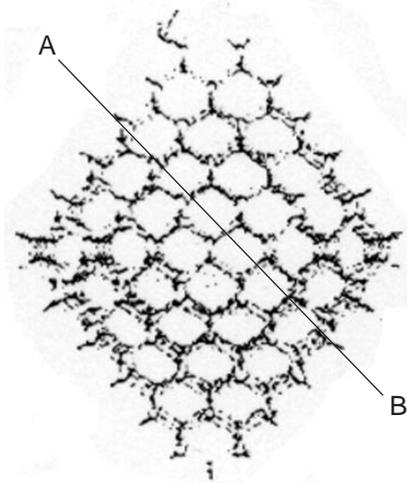


図5 特定の方向から見たシリコンの結晶模型
Silicon crystal model viewed from a specific direction

順な状態である。このあと、この面（へき開面）に沿って、原子をはがすような表面加工ができれば、自然な、無理のない結晶表面を得ることができるのである。つまり、槍鉋がけのような表面仕上げができないものだろうか。

実は、いま、そのような表面仕上げの研究が半導体結晶メーカーや大学で進められている。私は、そのような方法を勝手に"槍鉋法"とよんでいるのであるが、専門的には"延性モード切削"とよばれる。図6に示すのは、その"槍鉋法"で得られたシリコン単結晶の切削片（鉋屑）のSEM写真である。図3に示した檜の鉋屑とを見比べれば、その類似性から、私が"槍鉋法"とよぶ理由の一端が理解できるだろう。従来の方法（"脆性モード切削"という）とくらべ、この"槍鉋法"が優れていることを示すデータも出始めている。

長年、半導体結晶の研究に従事した私は、古代の木材加工における打ち割り、槍鉋の技術、思想が、今後のマイクロエレクトロニクス発展のための大きな鍵の一つになるであろうことを確信しているのである。

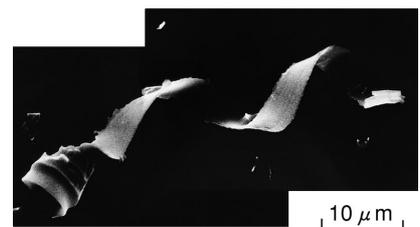


図6 シリコン結晶の"鉋屑"のSEM写真
(北海道大学・柴田隆行氏提供)
SEM photograph of silicon crystal "shaving"

