

SOI ピクセル検出器を用いた高速 X 線硬さ試験機の開発

金沢大学先端科学・イノベーション推進機構ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー
博士研究員 三井 真吾

【研究目的】

硬さとは、金属材料の機械的性質の一つであり、材料の傷付きにくさや変形のしにくさなど様々な特性に影響する。特に、材料の引っ張り強さの予測や熱処理の評価などの研究に利用されている。

従来の硬さ試験(図 1)は、圧子の押し込みによる圧痕の大きさなどで評価しているが、押し込み時間や圧痕の読み取りに時間が掛かるため、全自動化しても測定時間は数十秒掛かってしまう。そのため、製品検査などの産業的利用は一部であり、実験室での利用に留まっている。そして、材料表面には少なからず圧痕の傷が残ってしまうという難点がある。非破壊非接触の試験方法として、電磁気的方法が実用化されているが、コイル形状によって測定領域が決定されることから、材料表面の形状に測定値が左右されやすいという課題を持っている。そこで、SOI ピクセル検出器という次世代の 2 次元半導体 X 線検出器を用いて、非破壊非接触で高速・高精度に X 線硬さ試験を行う装置を開発することが本研究の目的である。

金属表面に X 線ビームを入射するとブラッグの法則に従って X 線が回折し、デバイリングと呼ばれる回折環を形成する(図 2)。その半価幅(回折環の半値全幅)は金属結晶の格子間隔のばらつき具合に起因するため、結晶レベルでの材料特性を表している。そのため、半価幅を精密に計測することで硬さなどの材料特性を評価することが出来る。そこで、小型高出力 X 線管球と SOI ピクセル検出器を用いて、高速に回折環を検出して硬さを評価する装置を開発した。

SOI ピクセル検出器は、検出部と回路部のシリコンウエハを直接張り合わせた一体型(モノリシック型)検出器で高感度、高精細、高速、低ノイズ、安価な次世代半導体検出器である。この高性能、低価格な X 線検出器を用いて、リアルタイムでの試験が可能な X 線硬さ試験機を開発した。

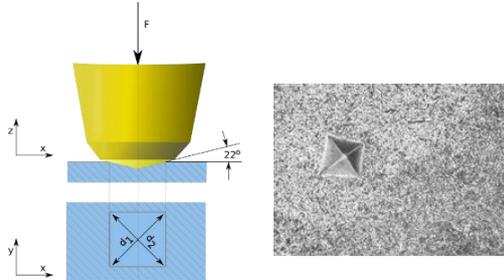


図 1 従来の硬さ試験 ダイヤモンド圧子により付いた圧痕の大きさを調べる。

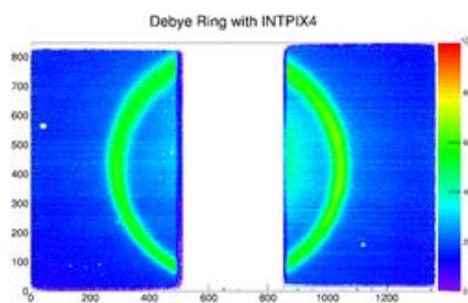


図 2 SOI ピクセル検出器による回折環画像

【研究成果】

新たに製造した薄型のシリコンウエハを使用して製造した積分型 SOI ピクセル検出器 INTPIX4 を 2 枚用いて X 線硬さ試験機を製作した(図 3)。INTPIX4 は、ピクセルサイズが $17 \times 17 \mu\text{m}^2$ 、ピクセル数が 832×512 、受光エリアが $14.144 \times 8.704 \text{mm}^2$ の汎用粒子検出器である。検出部と読

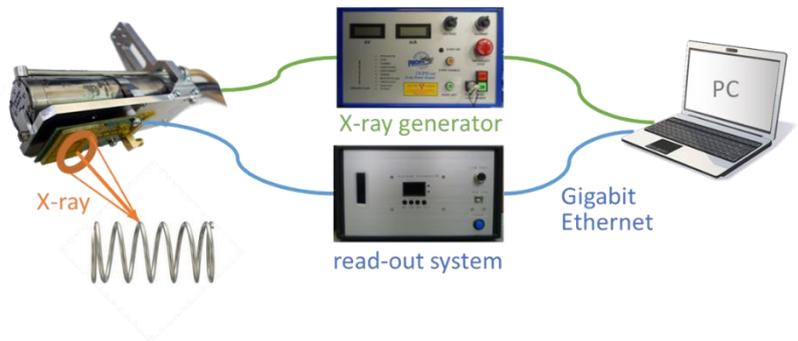


図 3 SOI ピクセル検出器を用いた硬さ試験機の概要

み出し部は挟ピッチフレキシブルケーブルで接続され、検出器を基板の上にフリップチップ実装することで検出部の小型化を達成し、狭隘部を持つ様々な試験片の測定が可能となった。解析プログラムは並列解析することで大幅に高速化している。

開発した装置を用いて軸受鋼 SUJ2 で作られている硬さ標準片 HV100 ~ HV800 のビッカース硬さと半価幅の関係を調べた。INTPIX4 を用いた硬さ試験機とイメージングプレートを用いた装置の比較を行った。INTPIX4 の露光時間は、画像 1 枚あたり 100 ms を 10 枚積算して合計 1 秒である。露光時間が長いとノイズを蓄積してしまうため 1 枚あたりの露光時間は 100 ms としている。これにデータ転送時間を含めて、1 回あたりの測定時間は約 1.3 秒である。イメージングプレート式の装置はパルステック工業製 μ -X360 を用いており、1 回の測定時間は約 90 秒である。

測定結果を図 4 に示す。INTPIX4 を用いた硬さ試験機およびイメージングプレートを用いた装置ともにビッカース硬さの増加とともに半価幅が増加しており、同様の傾向を示している。2 つの装置の絶対値が異なっているが、これは X 線の照射径や光学系の違いによるものである。この結果から、材料ごとに校正曲線を得ることが出来れば、INTPIX4 を用いた硬さ試験機で高速に硬さ評価が可能であることを示された。

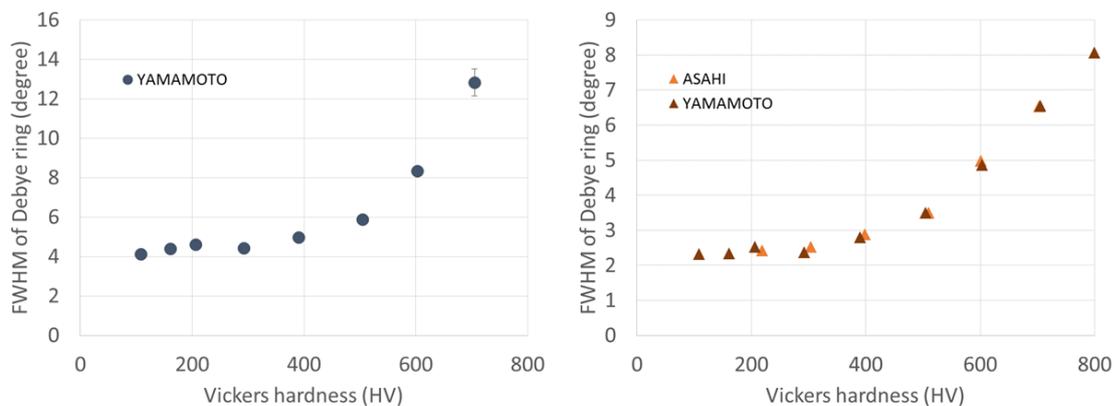


図 4 INTPIX4(左)とイメージングプレート(右)を用いた硬さ標準片の半価幅測定