

平成21年6月10日現在

研究種目：若手研究 (B)	
研究期間：2007年度～2008年度	
課題番号：19760076	
研究課題名 (和文)	廉価型の高速度応力顕微鏡の開発と多積層集積回路の応力評価および故障回避への応用
研究課題名 (英文)	Development of inexpensive and high-speed stress-microscope and application to stress evaluation in multilayer integrated circuit and avoidance of breaking in the circuit
研究代表者	
五味 健二 (GOMI KENJI)	
東京電機大学・工学部・准教授	
研究者番号：60281408	

研究成果の概要：研究代表者は、半導体ウエハの品質評価装置として、新しい微小複屈折測定法を考案し測定装置をほぼ完成させた。品質評価装置の導入は、生産に必要な絶対条件ではないため、品質評価によって得られる利益が十分に大きいか、装置費用を回収出来る見通しが立たねば導入されづらい。しかし CO₂ 削減のためには品質評価装置を導入し歩留まりを向上させることが必要である。これをふまえ、本研究では導入及び維持費用が高価格になりにくい装置を提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	360,000	3,560,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料，材料力学

キーワード：材料設計・プロセス・物性・評価

1. 研究開始当初の背景

高密度化，高集積化ならびに多積層化された電子デバイス内に生ずる応力の評価技術が切望され続けている。これは，電子デバイスの性能を制約している原因の一つとして，材料力学的な問題が10年以上前から議論されていることによる。具体的には，デバイスの製造時と使用時に生ずる回路パターンの剥離，配線の断線，パッケージの破損，半導体ウエハの微小な変形，き裂などが挙げられる。これに対する解決策としてこれまで赤外

線による光弾性応力測定が有力であった。ところが，近年の集積回路の多積層配線が，このプローブ光を遮り，応力測定を不可能にしている。

ところで，一般に集積回路は，半導体ウエハに同一回路を多数形成し，切り離して量産する。ゆえに切り離し用の「切りしろ」（以降，スクライブ線）が必ず存在する。

これを踏まえ本研究では，スクライブ線の応力場からチップの応力を評価する装置を提案する。

2. 研究の目的

本研究では、Fig. 1 に示す、スカラー場より 2 ランク高い次元のテンソル場を測定できる廉価型高速応力顕微鏡を開発する。そして、この顕微鏡を用いて、多積層集積回路のスクライブ線の応力分布を実測し、それより、クラックおよび結晶すべりの危険性を予測する方法を提案する。これにより、集積回路の生産における歩留まりを向上させ、CO₂削減による地球環境保護に貢献する。

3. 研究の方法

Fig. 1 に示した装置を、まずは可視光光源 ($\lambda=632.8\text{nm}$) にて完成させ (以降、可視光線式応力顕微鏡)、その研究結果をふまえて赤外線式の応力顕微鏡を開発した。具体的には以下の手順で装置の完成を図った。

(1) 微小複屈折の測定

複屈折位相差が公称 10nm の波長板を試料として、複屈折の測定実験を行った。これは、1 波長の 1/63.2 に相当する微小な複屈折位相差とその方位角を、精度良く、繰り返し性良く測定できることを示すためである。

試料の複屈折位相差の製品公差は $\pm 4.7\text{nm}$ であり、進相軸の方位は、四角い波長板の対角線に一致することがわかっている。この試料の進相軸を 0° から 360° まで 10° ずつレーザー光軸まわりに回転させつつ、複屈折位相差 γ とその進相軸方位 ϕ を、次式(1)~(2b)から求めた。

$$\phi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{i_2 - i_3}{-2i_1 + i_2 + i_3} \right) \quad (1)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{-2i_1 + i_2 + i_3}{(i_2 + i_3) \cos 2\phi} \right) \quad (2a)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{i_2 - i_3}{(i_2 + i_3) \sin 2\phi} \right) \quad (2b)$$

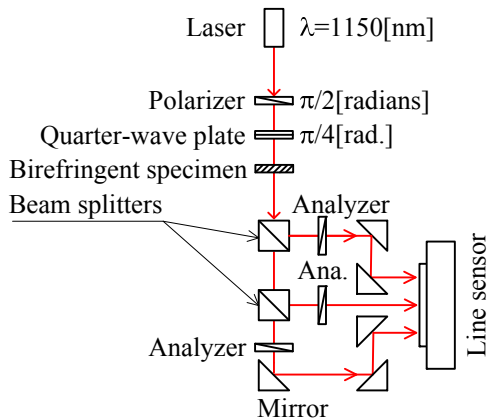


Fig. 1 Experimental setup

ここで、 i_1, i_2, i_3 は、Fig. 1 で得られる 3 光強度である。この一連の操作を、日を変えて 3 回行い、結果の繰り返し性を確認した。

(2) ゼロに近い微小複屈折の測定

先の波長板を Fig. 2 の様に 2 枚重ね、このひと組を試料として、2 枚の進相軸のなす角を変化させつつ合成された複屈折の測定実験を行った。これは、任意の微小な複屈折位相差とその方位角を、精度良く、繰り返し性良く測定できることを示すためである。

ひと組の波長板の、それぞれの進相軸のなす角 θ_l を変えることで、連続的に変化する複屈折位相差と方位角を生成する事ができる。そこで、 θ_l を 0° から 180° まで 10° ずつ回転させつつ、複屈折位相差とその進相軸方位を測定した。ただし、複屈折位相差がゼロに近くなる $\theta_l=85\sim 95^\circ$ は 1° ずつ回転させ、複屈折位相差とその進相軸方位を緻密に測定した。この一連の操作を、日を変えて 2 回行い、結果の繰り返し性を確認した。

(3) 複屈折分布の評価

複屈折位相差が公称 79.1nm の波長板を試料として、複屈折分布の測定実験を行った。これは、1 波長の 1/8 に相当する比較的微小な複屈折位相差とその方位角の分布を、評価できることを示すためである。

試料の複屈折位相差の製品公差は $\pm 3.5\text{nm}$ であり、進相軸の方位は、波長板の対角線に一致することがわかっている。この試料の進相軸を 0° から 180° まで、ほぼ 45° ずつレーザー光軸まわりに回転させつつ、レーザースポット内の複屈折位相差とその進相軸方位の分布を、式(1)~(2b)から求めた。この一連の操作を、日を変えて数回行い、結果の繰り返し性を確認した。

(4) 赤外線式応力顕微鏡の開発

上述までの研究結果をふまえて、赤外線

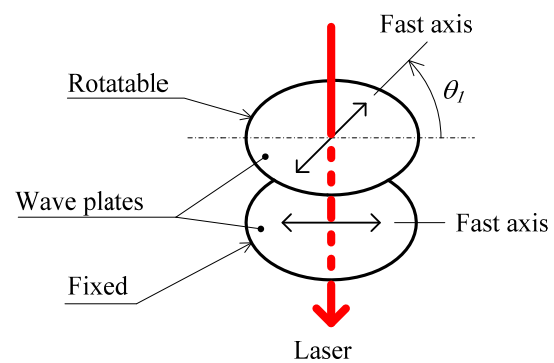


Fig.2 Wave plates in tandem to generate minute retardation

($\lambda=1150\text{nm}$) 式応力顕微鏡を構築し、上述の(1)と同様の実験を行った。具体的には、複屈折位相差が公称 $144\text{nm}\pm 3.5\text{nm}$ の波長板を試料として、複屈折の測定実験を行った。これは、1波長の $1/12.5$ に相当する複屈折位相差とその方位角を、精度良く、繰り返し性良く測定できることを示すためである。

(5) 試料走査用 XY ステージプログラムの開発

半導体ウエハの応力性複屈折を合理的に測定するための XY ステージの制御プログラムを開発した。

4. 研究成果

(1) 微小複屈折の測定

以下に述べる結果から可視光線式応力顕微鏡は、1波長の $1/63.2$ に相当する微小な複屈折位相差とその方位角を、精度良く、繰り返し性良く測定できたと考えられる。

実験で得られた複屈折位相差と方位角の、標準偏差を Table 1 にまとめた。Table 1 の、2 段目に複屈折位相差の測定結果を、3 段目に進相軸方位の測定結果を、4 段目に測定回数を、それぞれ示す。表の 1 段目には、製造元が保証した複屈折位相差および公差を示す。したがって試料は、この公差内の、ある複屈折位相差を有する。表 1 の 2 段目に示すように、測定された試料の複屈折位相差の算術平均値は、公差内の値であった。また、測定値の標準偏差は、 0.509nm となった。この

値は、算術平均値の $\pm 5\%$ 未満であること、および評価対象の複屈折位相差が微小であることを考慮して、良好な値と判断した。Table 1 の 3 段目に示すように、測定された試料の複屈折方向の増加量の算術平均値は、きわめて理想に近いものとなった。

(2) ゼロに近い微小複屈折の測定

以下に述べる結果から可視光線式応力顕微鏡は、連続的に変化する微小な複屈折位相差とその方位角を、精度良く、繰り返し性良く測定できたと考えられる。

Fig. 3 に、Fig. 2 で示した合成複屈折の測定結果を示す。グラフの横軸は Fig. 2 に示し

Table 1 Results from measurements for wave plate which has nominally 10nm in retardation

Nominal retardation \pm tolerance, nm	10.0 \pm 4.7
Ave. of measured retardation $\pm\sigma$, nm	10.2 \pm 0.509
Ave. offset of measured angles $\pm\sigma$, degrees	10.0 \pm 0.808
Number of the measurements	111

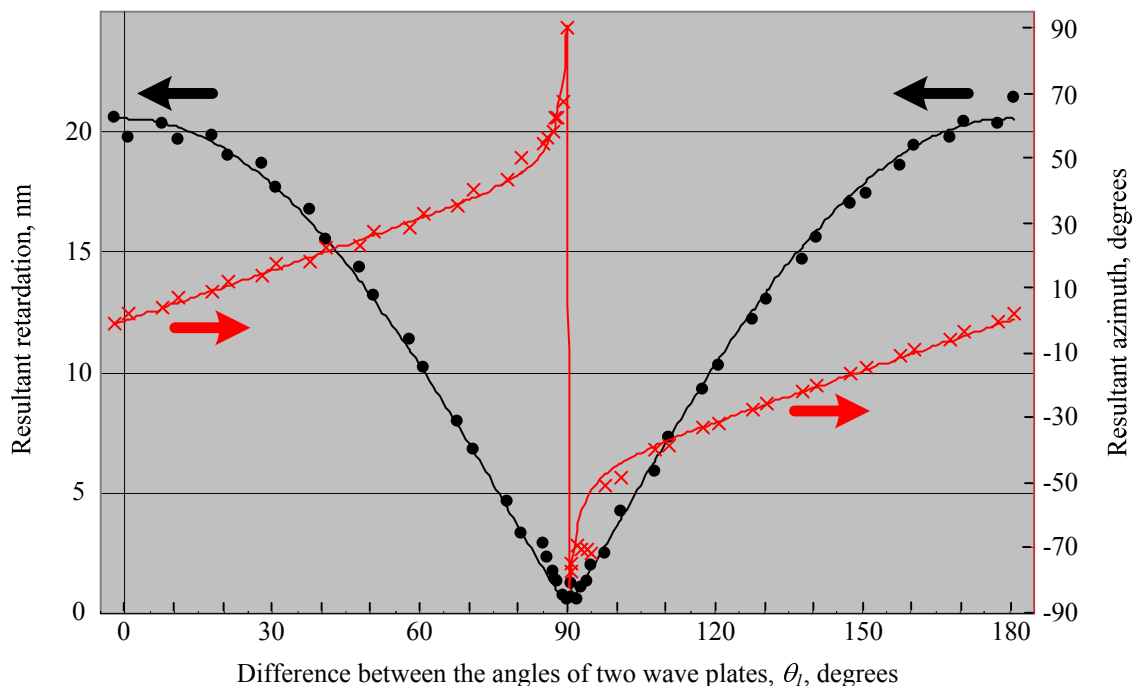


Fig. 3 Comparisons between the theory and experiment for wave plates in tandem

た θ_l を, 左の縦軸は合成の複屈折位相差[nm]を, 右の縦軸は合成の方位角[°]をそれぞれ示す. 理論曲線は, 複屈折量のベクトル演算によって導いた.

ところで, 理論値を計算する際, Fig. 2 に示した 2 枚の波長板の複屈折位相差はそれぞれ, 回転側を 10.58nm, 固定側を 9.977nm と仮定した. これは, $\theta_l=0, 180^\circ$ では 2 枚の波長板の複屈折位相差の和が, $\theta_l=90^\circ$ では差が得られることと, これに対応する実験値とから導いた. 具体的には, $\theta_l=0, 180^\circ$ における合成複屈折位相差の測定値である 20.56nm および $\theta_l=90^\circ$ における 0.6053nm を用いた. なお, 固定側波長板に仮定した 9.977nm には, 装置の構成部品の公差からくる誤差を含んでいる. この誤差は変化しないので, 装置に固定されている波長板の複屈折に含んだ. 実験値と理論値の相関係数は, Table 2 に示すように, 合成複屈折位相差が 0.999, 合成方位角が 0.995 となった. Fig. 3 に示した実験結果と理論曲線との良好な一致と, Table 2 に示した高い相関係数とから, 実験値は精度および繰り返し性良好と判断した.

(3) 複屈折分布の評価

以下に述べる結果から可視光線式応力顕微鏡は, 1 波長の 1/8 に相当する比較的微小な複屈折位相差とその方位角の分布を, 評価できたと考えられる.

Fig. 4 下方に, 試料の写真と複屈折分布の測定位置を示す. 計算処理の都合上, 直径約 1mm のレーザスポットの中心から, 図に示す $\square 400\mu\text{m}$ のエリアを切り出し, 評価の対象とした. Fig. 4 上方のグラフは, 評価対象における複屈折分布測定結果の典型的な例を示している. グラフ底面の軸は測定位置 [pixels]を, 縦軸は複屈折位相差[nm]および方位角[°]を示す. ここで $\square 1\text{pixel}$ は約 \square

Table 2. coefficients of correlation between the theory and experiments for wave plates in tandem

Retardation	Azimuth
0.999	0.995

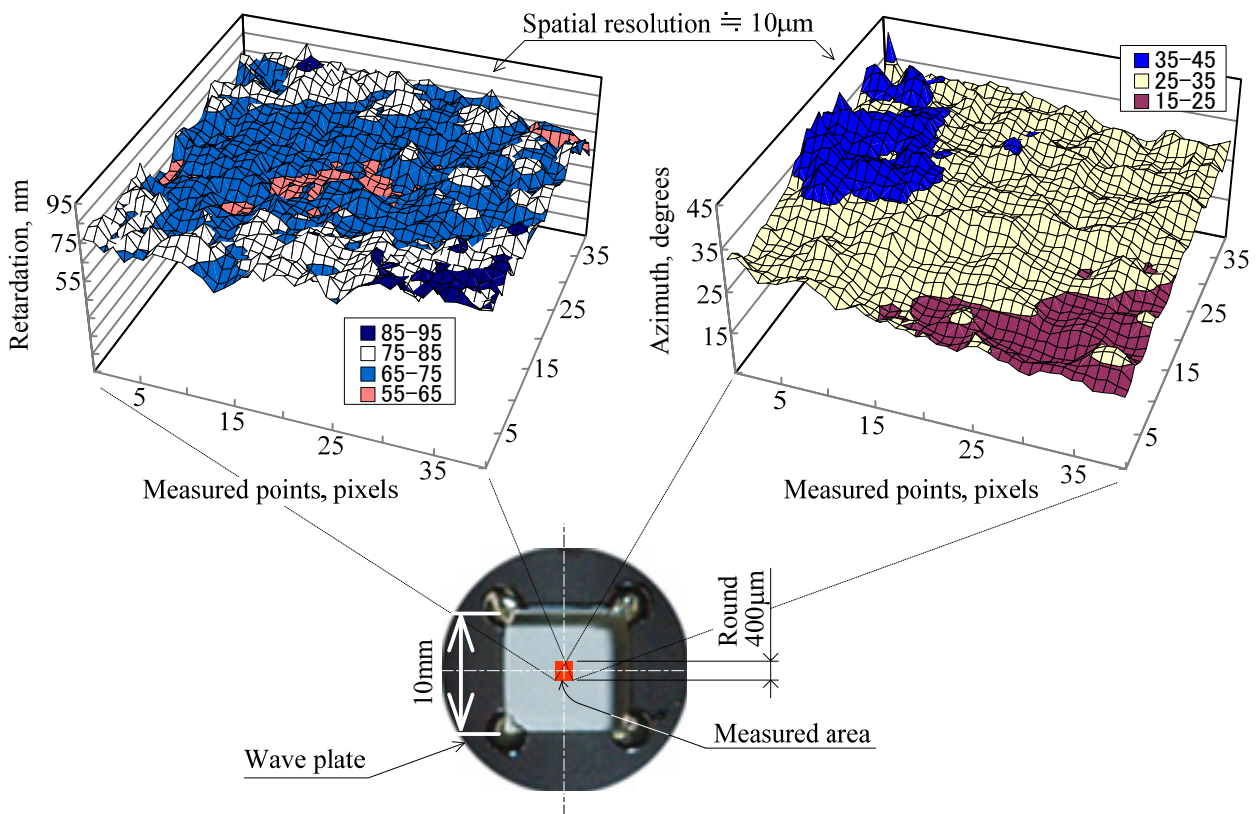


Fig. 4 Measured typical distributed birefringence in the specimen which has nominally 79.1nm in retardation

10 μm のエリアを撮影しているの、複屈折分布測定の間分解能は約10 μm である。Fig. 4 左より、評価対象全体において、試料の複屈折位相差の公称値である 79.1nm に近い値が観測され、Fig. 4 右より、方位角もほぼ一定値を示していることが分かる。

各測定位置から得られた複屈折位相差と方位角の、標準偏差を Table 3 にまとめた。Table 3 の、2 段目には複屈折位相差を、3 段目に進相軸方位を、4 段目にデータの個数を、それぞれ示す。表の 1 段目には、製造元が保証した複屈折位相差および公差を示す。したがって試料は、この公差内の、ある複屈折位相差を有する。Table 3 の 2 段目に示すように、測定された試料の複屈折位相差の算術平均値は、公差内の値であった。また、測定値の標準偏差は、15.0nm であり、算術平均値の $\pm 19\%$ 程度となった。

(4) 赤外線式応力顕微鏡の開発

以下に述べる結果から赤外線式応力顕微鏡は、1 波長の 1/12.5 に相当する複屈折の方位角を、精度良く、繰り返し性良く測定でき

Table 3 Results from measurements for distribution of birefringence

Nominal retardation \pm tolerance, nm	79.1 \pm 3.5
Ave. of measured retardation $\pm\sigma$, nm	80.2 \pm 15.0
Ave. offset of measured angles $\pm\sigma$, degrees	45.1 \pm 8.14
Number of data	$\approx 8 \times 10^3$

Table 4 Results from measurements for wave plate which has nominally 10nm in retardation

Nominal retardation \pm tolerance, nm	144 \pm 3.5
Ave. of measured retardation $\pm\sigma$, nm	136 \pm 6.62
Ave. offset of measured angles $\pm\sigma$, degrees	9.93 \pm 0.873
Number of the measurements	37

たと考えられる。しかしながら、1 波長の 1/12.5 に相当する複屈折位相差の測定確度については検討の余地を残す結果となった。これについては今後、補正方法の検討など継続して研究を行う。

実験で得られた複屈折位相差と方位角の、標準偏差を Table 4 にまとめた。Table 4 の、2 段目に複屈折位相差の測定結果を、3 段目に進相軸方位の測定結果を、4 段目に測定回数を、それぞれ示す。表の 1 段目には、製造元が保証した複屈折位相差および公差を示す。したがって試料は、この公差内の、ある複屈折位相差を有する。Table 4 の 2 段目に示すように、測定された試料の複屈折位相差の算術平均値は、公差内の値とならず、そこから 4.5nm ずれた値をとった。また、測定値の標準偏差は、6.62nm となった。ただしこの値は、算術平均値の $\pm 5\%$ 未満であることを考慮して、良好な値と判断した。Table 4 の 3 段目に示すように、測定された試料の複屈折方向の増加量の算術平均値は、ほぼ理想に近いものとなった。

(5) 試料走査用 XY ステージプログラムの開発

RS-232C 経由で XY ステージを制御するプログラムを LabView で記述した。近年のパーソナルコンピュータは RS-232C ポートを持たない機種が増えたため、USB ポートからも制御できるよう配慮した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 五味健二、鈴木智之、一瀬謙輔、新津靖、簡単な偏光測定による微小な複屈折分布の評価、数理科学会論文集、第 7 巻、pp. 15-20、(2008)、査読有り
- ② 五味健二、一瀬謙輔、鈴木智之、新しい簡便な複屈折分布測定法、東京電機大学総合研究所中間報告書 2007、第 2007 巻、pp. 15-16、(2007)、査読無し
- ③ 鈴木智之、五味健二、鈴木隼、一瀬謙輔、簡便な複屈折測定装置の開発、材料試験技術、第 52-4 巻、pp. 218-212、(2007)、査読有り

[学会発表] (計 6 件)

- ① Kenji Gomi, Kensuke Ichinose and Yasushi Niitsu, RESIDUAL STRESS ESTIMATION IN SiC WAFER USING IR POLARISCOPE, *Proc. Of The 3rd International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference and the 10th International Symposium on Electronics Materials and Packaging Joint Conference*, pp. 550-552、(2008. 10. 23, Taiwan)、査読無し

- ② 五味健二、鈴木智之、一瀬謙輔、新津靖、偏光測定による微小複屈折分布評価、数理学会第 27 回数理学講演論文集、pp.89-90、(2008.8.30, 東京)、査読無し
- ③ Kenji Gomi、Tomoyuki Suzuki、Yasushi Niitsu and Kensuke Ichinose、New simplified measuring method for distributed low-level birefringence、*Proc. of 9th International Symposium on Laser Metrology on CD-ROM*, edited by Chenggen Quan, Anand Asundi, SPIE Vol. 7155 巻、pp.715510-1 ~ 715510-8、(2008.7.1, Singapore)、査読無し
- ④ Kenji Gomi、Tomoyuki Suzuki、Kensuke Ichinose、Yasushi Niitsu、New Simplified Measuring Method for Birefringence Distribution、*Proc. Of 9th International Symposium on Electronics Materials and Packaging*、ISBN: 978-1-4244-1910-4、CD-ROM Version(頁記載無し)、(2007.11.21, Korea)、査読無し
- ⑤ 鈴木智之、五味健二、一瀬謙輔、新津靖、応力顕微鏡の開発、日本実験力学会講演論文集、第7巻、pp.387-390、(2007.8.7, 東京)、査読無し
- ⑥ Kenji Gomi、Kensuke Ichinose、Yasushi Niitsu、A New Automated measuring instrument for Minute Photoelasticity、*Proc. Of 13th International Conference on Experimental Mechanics (2007)*、ISBN: 978-1-4020-6238-4、CD-ROM Version(頁記載無し)、(2007.7.4, Greece)、査読無し

〔産業財産権〕

○出願状況 (計2件)

名称：複屈折測定装置及び複屈折測定方法

発明者：五味健二

権利者：学校法人東京電機大学

種類：特願

番号：特願 2006-23238

出願年月日：2007年6月14日

国内外の別：国内

名称：複屈折測定装置及び複屈折測定方法

発明者：五味健二

権利者：学校法人東京電機大学

種類：PCT

番号：PCT/JP2007/062019

出願年月日：2007年6月14日

国内外の別：外国 (PCT)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.53lab.m.dendai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

五味 健二 (GOMI KENJI)

東京電機大学・工学部・准教授

研究者番号：60281408

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし