

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：32682

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011 年度～2012 年度

課題番号：23860051

研究課題名（和文） 近接場チップ増強ラマン分光法による半導体デバイスの局所領域応力分布評価に関する研究

研究課題名（英文） Study of High-Spatial Resolution Strain Measurements in Semiconductor Devices Using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy

研究代表者

小瀬村 大亮 (KOSEMURA DAISUKE)

明治大学・理工学部・助教

研究者番号：00608284

研究成果の概要（和文）：

ラマン分光法と原子間力顕微鏡（AFM: atomic force microscopy）を組み合わせることにより、tip-enhanced Raman spectroscopy (TERS) を実現した。TERS 測定においてしばしば擾乱要因となる遠方場の信号（バックグラウンド）を抑制するために、TERS 信号、およびバックグラウンドの偏光依存性を検討して、最適な TERS 測定配置を選定した。その結果、入射方向 [110]、入射、散乱偏光がそれぞれ  $p$ 、および  $s$  偏光の配置において高い TERS 信号/バックグラウンド比を得た。さらに、“チップ増強テンソル”を用いたチップ電場増強モデルにより計算した TERS 信号の偏光依存性と比較した結果、Si のラマン散乱強度の増幅率として  $1.6 \times 10^5$  が得られた。この値は、これまでに報告されてきた増幅率  $10^4$  に比べて一桁程度大きい。大きな増幅率が得られた要因は、shear-force mode を用いて AFM を行ったことにより、探針と試料表面の距離が極めて近接したことによると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Tip-enhanced Raman spectroscopy (TERS) was realized by combining Raman spectroscopy and atomic force microscopy (AFM). Far-field signal (background) frequently interrupts us to derive the TERS signal from obtained spectra. To suppress the background, the polarization properties of both TERS signal and background were examined in detail. As a result, high-intensity ratio of the TERS signal to background was obtained in the conditions of [110] incidence and  $p$  and  $s$  polarizations of the incident and scattered lights, respectively. An enhancement factor of approximately  $1.6 \times 10^5$  was obtained by comparing the experimental results and calculations based on the tip-enhanced modeling with the “tip-amplification tensor.” The obtained value of the enhancement factor was higher than the previously reported value of about  $10^4$ . The reason for the high enhancement factor is considered to be the tip apex remaining in the vicinity of the sample surface in the shear-force AFM measurements.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物性・結晶工学

キーワード：tip-enhanced Raman, AFM Raman, Si, SiGe, strain, stress, polarized-Raman

## 1. 研究開始当初の背景

トランジスタの高性能化技術の一つである歪 Si は、実用化されてから今日まで改良を重ね、今後もキーテクノロジーとして期待の大きな技術である[1]。歪 Si 技術を効果的にトランジスタに適用するためには、Si チャンネル領域に導入された歪の可視化が重要である。歪測定手法について種々提案されているが、極微細トランジスタのチャンネル領域の歪を正確に測定可能な手法は見当たらない。その中で、近接場チップ増強ラマン分光法 (TERS: tip-enhanced Raman spectroscopy) は、高い空間分解能で歪測定を行えることから、最有力候補の一つとして期待されている[2,3]。

TERS は、金属探針の先端に光照射することにより生じた近接場を励起源として用いる。近接場は極微小領域に局在する性質を持ち、近接場領域は金属探針先端径程度となることが知られている[4]。一般的な顕微ラマン分光法のビームスポットサイズが約 1  $\mu\text{m}$  であるのに対して、TERS では数十ナノメートルの空間分解能が期待でき、現在のトランジスタサイズにも十分適用可能である。

ラマン分光法は Si に導入された歪を正確に測定可能なので、不良解析等実際に現場で多用され、近年では、有用な歪測定手法であると広く認識されている[5,6]。TERS により極微細トランジスタのチャンネル領域の歪分布を取得することができれば、歪エンジニアリングにとって重要な知見となり、トランジスタの高性能化に直結する成果が得られると考えられる。

## 2. 研究の目的

TERS において最も大きな課題の一つとして、近接場の信号が遠方場の信号 (バックグラウンド) に阻害される場合がある。例として、遠方場の散乱体積は、 $\pi \times (\phi/2)^2 \times l \approx 1.7 \times 10^9 \text{ nm}^3$  となる (ここで、 $\phi, l$  は、それぞれビームスポットサイズ、および光学的侵入長である。計算では波長 632.8 nm の励起光を仮定した)。一方、近接場の散乱体積は、 $h^3 \approx 2.7 \times 10^4 \text{ nm}^3$  となる (ここで、 $h$  は hot-spot size である。計算では 30 nm の先端径を仮定した)。その結果、遠方場に対する近接場の散乱体積比は、約  $6.3 \times 10^4$  となり、この値は、Si において表面プラズモン共鳴による電場増強率約  $10^4$  と同等である[7,8]。したがって、TERS により得られた局在領域からの信号が、バックグラウンドに埋もれてしまう状況がある。本課題を解決するために、ラマン信号の偏光特性を利用してバックグラウンドを最小にする測定配置を検討する。そして、TERS により空間分解能 10 nm で Si に導入された歪を正確に測定する技術を確立する。

## 3. 研究の方法

TERS で重要なのは、金属探針と試料表面を可能な限り近接させることである。そこで本研究では、ラマン分光法と原子間力顕微鏡 (AFM: atomic force microscopy) を組み合わせることで達成した。AFM では、探針と試料に加わる原子間力を常に一定に保ちながら

探針を走査して表面凹凸像を得る。つまり、AFM により探針と試料表面の距離はラマン測定中一定に保持され、安定した TERS 信号を取得することが可能となる。本実験では、AFM モードとして shear-force mode と tapping mode を用いた。TERS 測定では、不透明材料にも適用可能な反射型 TERS を採用した[9]。そのため、斜入射光学系を用いて AFM 探針に対して斜めからの光照射となる。

光照射により金属表面に励起されるプラズモンは、金属の種類、探針の形状、励起波長、媒質の屈折率、測定試料などに強く依存するので、TERS 信号を最適化するために、条件検討が必要となる。本研究では、tapping mode で用いる Si 探針に、Au, Ag, Cu, Al を種々の膜厚、レート、圧力で蒸着した。Shear-force mode では、Au ワイヤを探針として用いた。Au ワイヤは、塩酸とエタノールの混合溶液中においてプラチナ電極を陰極に用いて電界研磨により作成した[10]。電界研磨により作成した Au ワイヤ探針の先端径は約 10 nm である[11]。励起波長は、532, および 633 nm とした。測定試料は、歪 Si, 歪 SiGe を用いた。TERS の信号増強効果を確認するために、金基板上に堆積した有機色素マラカイトグリーンを用いた。

バックグラウンドを除去するために、偏光ラマン測定を行い、最適な TERS 測定配置を検討した。入射、および出射光の偏光を、偏光子、および波長板を用いて制御した。入射光の入射角度は 60° とした。斜入射光学系におけるラマン散乱光は下式で計算される[12]。

$$I_{\text{ter}} = V_{\text{ter}} \times \sum_j |e_s'^T F_{10} T(\theta)^T T(\phi_1)^T R_j T(\phi_1) T(\theta) F_{01} e_i'|^2 \\ = V_{\text{far}} \times \sum_j |e_s'^T R_j' e_i'|^2$$

ここで、 $V_{\text{far}}$  は遠方場の散乱体積を示す。 $R_j$  は Si の各光学フォノンモードに対するラマンテンソルを示す (座標は  $x$ : [100],  $y$ : [010],  $z$ : [001] と定義した) [13]。 $T(\phi_1)$  は後方散乱配置から斜入射光学系への座標変換行列で、 $\phi_1$  は Si 内部における励起光の入射角度である。 $T(\theta)$  は試料回転に関する座標変換行列で、 $\theta$  は  $z$  軸回りの試料回転角度である (計算では  $\theta = 0, 45^\circ$  とした)。 $F_{10}, F_{01}$  はそれぞれ媒質/Si、および Si/媒質界面における反射・透過を表現するフレネル行列である[14]。上記の種々変換行列 ( $T(\phi_1), T(\theta), F$ ) を  $R_j$  に作用させることにより、斜入射光学系座標 ( $x'y'z'$ ) におけるラマンテンソル  $R_j'$  へと変換される。 $e_i', e_s'$  は座標 ( $x'y'z'$ ) における入射、および散乱光の電場ベクトルを示す。

一方、TERS 信号強度に関しては、Ossikovski *et al.* により提唱された“チップ増強テンソル”を用いたチップ電場増強モデルにより計算した[15]。

$$I_{\text{TERS}} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \sum_j |e_s'^T R_j^{(m)} e_i'|^2 \\ R_j^{(m)} = A_m'^T R_j A_m'$$

$$A'_m = F_{00}^T T(\varphi_0)^T A_m T(\varphi_0) F_{00}$$

$$A_m = T_m(\theta_0)^T A T_m(\theta_0)$$

$$A = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & b \end{bmatrix}$$

ここで、 $A$  はチップ増強テンソルであり、 $a, b$  ( $a > b$ ) はチップ増強テンソルの成分で探針の材料、形状などに依存する。 $A_m$  ( $m = 1, 2, 3, 4$ ) は探針先端がピラミッド形状と仮定した場合のチップ増強テンソルである[15]。 $T_m(\theta_0)$  は  $A$  を  $A_m$  に座標変換する行列で、 $\theta_0$  はピラミッド形状先端部の鋭角を示す。 $A'_m$  は斜入射光学系座標におけるチップ増強テンソルである。 $T(\varphi_0)$  は後方散乱配置から斜入射光学系配置への座標変換行列であり、 $\varphi_0$  は励起光の入射角度である。 $F_{00}$  は  $3 \times 2$  の単位行列である。 $R'_j(m)$  はピラミッド形状の 4 辺に対応する実効ラマンテンソルを示す。4 辺で計算される各光学フォノンモードを平均化して、ピラミッド形状を持つ探針におけるチップ増強効果が計算される。本計算では、入射、および散乱光におけるチップ増強テンソルは同等とした。この仮定は、Au ワイヤの場合、プラズモン共鳴の波長帯がブロードであることに因る。

#### 4. 研究成果

##### (1) TERS による信号増強効果

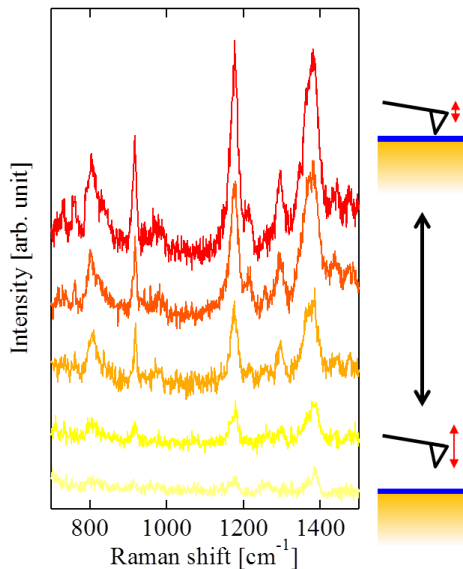


図1 TERS によるマラカイトグリーン信号の増強

Au, Ag, Cu, Al を蒸着した Si 探針を用いて TERS におけるマラカイトグリーンの信号増強効果について確認したところ、Au, Ag を用いた場合において顕著な信号増強が得られた。図1に、Au を 20 nm 蒸着した Si 探針に波長 633 nm の励起光を照射した後、探針を試料から十分離れた状態から徐々に近づけ

ながらラマン信号を取得した結果を示す。探針が試料表面に近づくにつれてマラカイトグリーン信号の強度が増している。これは、光照射により Au 表面にプラズモンが励起され、探針先端において局部的に電場増強が生じたことに因る。本研究で用いた AFM ラマンシステムが TERS 測定に有効であることが示された。図2に、上記実験で使用した探針の走査型電子顕微鏡 (SEM: scanning electron microscopy) 像を示す。SEM 像より、探針先端は非常に鋭く 10-20 nm であり、Au 粒子が形成されていることが分かる。

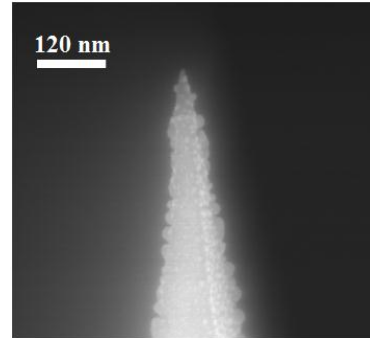


図2 Au を蒸着した Si 探針の SEM 画像

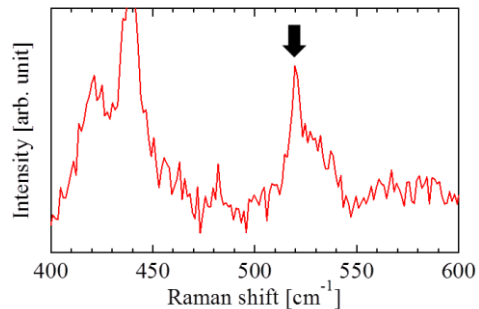


図3 TERS 信号における Si 探針の影響

図3に、図1で示したスペクトルについて  $500 \text{ cm}^{-1}$  付近の波数帯を拡大したスペクトルを示す。 $520 \text{ cm}^{-1}$  付近に鋭いピークが確認された (矢印)。このピークは、Si 探針由来のピークであることが分かった。探針先端で増強された電場により、探針の材料である Si のラマン信号も増大されたことに因ると考えられる。この現象は、表面増強ラマン (SERS: surface enhanced Raman spectroscopy) 効果と言える[16]。TERS を行う上で、この Si 探針由来のラマン信号は、測定対象が Si の場合、信号が重畳してしまいスペクトル解析において擾乱要因になることが懸念される。

図4(a)に、strained Si on insulator (SSOI) 基板のラマンスペクトルを示す (SSOI 基板の断面透過型電子顕微鏡像 (TEM: transmission electron microscopy) を挿入図に示す)。Au を蒸着した Si 探針を試料表面に近づけた状態 (Tip in contact)、および探針を試料から離し

た状態 (Tip withdrawn) で測定した。TERS による信号増強効果により、約 5 倍の増幅率が得られた。図 4 (b) に、SSOI 基板の TERS スペクトルをピークフィッティングにより分離した結果を示す。520  $\text{cm}^{-1}$  のピークが Si 基板、低波数側のピークは基板最表面に配置する歪 Si 層起因であると同等される。TERS 測定した場合、試料表面のみ電場増強が生じるので、Si 基板のラマン信号は増大しないはずである。図 4 で見られる Si 基板の増大は、前述の Si 探針からのラマン信号が重畳した結果と考えられる。

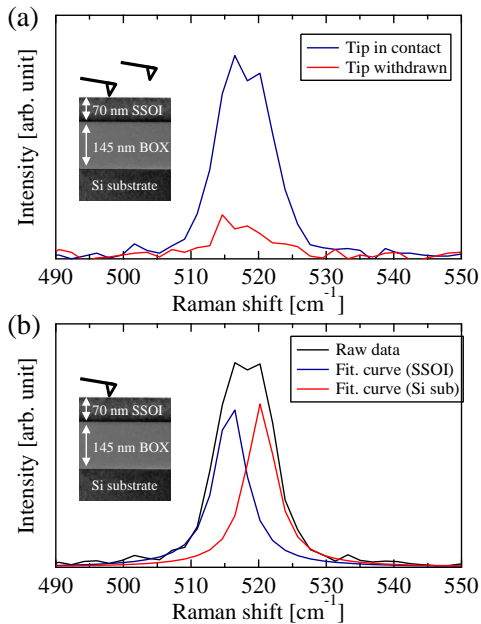


図 4 (a) TERS による SSOI 基板の信号増強、(b) SSOI 基板の TERS スペクトルにおける成分分離

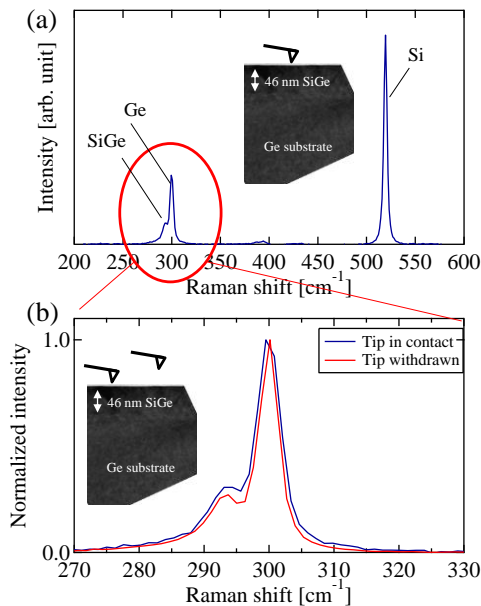


図 5 (a) 歪 SiGe/Ge 基板の TERS スペクトル、(b) TERS スペクトルと通常ラマンスペクトル比較

測定対象が Si の場合、図 4 のように Si 探針のラマン信号が擾乱要因になる。そこで Ge 基板上に成膜した歪 SiGe 層の TERS 測定を試みた。図 5 (a) に歪 SiGe/Ge 基板の TERS スペクトルを示す (断面 TEM 像を挿入図に示す)。Si 探針のピークが 520  $\text{cm}^{-1}$  が見られる。一方、歪 SiGe/Ge 基板のピークは 300  $\text{cm}^{-1}$  付近に見られ、Si 探針の信号に阻害されることがなく TERS スペクトルを得ることができた。図 5 (b) に、歪 SiGe/Ge 基板の TERS、および通常のラマンスペクトルを示す (Ge 基板のピーク強度で規格化した)。低波数側のピークは基板最表面に配置した歪 SiGe 層起因であり、TERS スペクトルにおいて信号増強効果が確認できる。しかしながら、増幅率は小さい。これは、遠方場により励起された信号 (バックグラウンド) が大きいと、近接場の信号を分離抽出できていないことに因る。そこで、バックグラウンドを最小にして TERS 信号を取得するために、ラマン偏光選択則を利用して TERS 測定配置の最適化を試みた。

## (2) ラマン偏光選択則を利用した TERS 測定配置の最適化

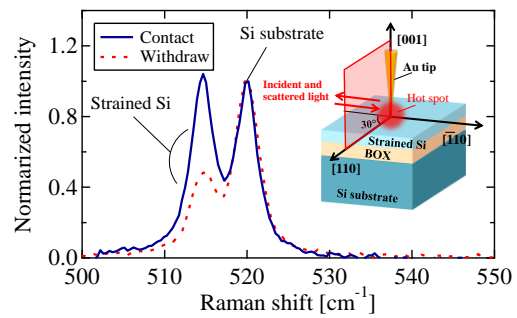


図 6 TERS および通常ラマンにより得られた SSOI 基板のラマンスペクトル

図 6 に、TERS、および通常ラマンで得られた SSOI 基板のラマンスペクトルを示す。TERS 測定において、Au ワイヤを探針として用い、shear-force mode で AFM を行った。ラマンスペクトルは Si 基板のピークで規格化した。測定配置を挿入図に示す。入射方向は [110]、入射、および散乱偏光は共に  $p$  偏光である。70 nm の SSOI 層のピークに注目すると、TERS 測定において高いピーク強度が得られた。これは、試料表面領域における信号増強効果に因ると考えられる。顕著な SSOI ピーク強度の上昇は、shear-force mode を採用した結果であると考えられる。

図 7 に、TERS 測定における SSOI ピークの入射偏光依存性の結果を示す。入射方向、散乱偏光は [110]、および  $p$  偏光である。TERS 測定で得られたラマンスペクトルはバックグラウンドが混在すると考えられるので、図 7 (a) のように、TERS 信号とバックグラウンドを分離抽出して解析した。図 7 (b) に、バックグラウンドに対する TERS 信号比の入射偏光依存性を示す。散乱偏光が  $s$  偏光の場合、最も高い

信号強度比が得られた。この配置では、バックグラウンドが抑制されて、結果的に TERS 信号比の上昇に繋がった。得られた最も高い TERS 信号/バックグラウンド比は約 8.0 となった。

図 8 に、各種配置における TERS 信号、およびバックグラウンドの入射偏光依存性の計算結果を示す。TERS 信号に注目すると、全ての配置において、入射偏光を  $p$  偏光から  $s$  偏光に変化させると単調に減少する。これは、信号増強効果が  $p$  偏光に対して効率的に生じることを示している[17]。

図 8 の計算結果より、各種配置における TERS 信号/バックグラウンド比の入射偏光依存性が計算される。実験結果、および計算で得られた信号比を比較した (図 7 (b))。計算に用いた各種パラメータは、探針ピラミッド形状の角度  $\theta_0 = 30^\circ$ , hot-spot size  $h = 23$  nm とした。その結果、チップ増強テンソル  $A$  は下式となった。

$$A = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

チップ増強テンソル  $A$  の 4 乗は約  $1.6 \times 10^5$  となり、この値は、これまで報告されてきた Si の増幅率  $10^4$  に比べて一桁程度大きい[18]。本研究において大きな増幅率が得られた要因は、shear-force mode を用いたため、Au ワイヤ探針と試料表面の距離が極めて近接したことに因ると考えられる。

本研究により、Si に導入された歪を、正確に高い空間分解能で測定する技術が整ったと考えられ、今後、歪 Si, あるいは歪 SiGe の極微小領域における歪分布測定に移行する。

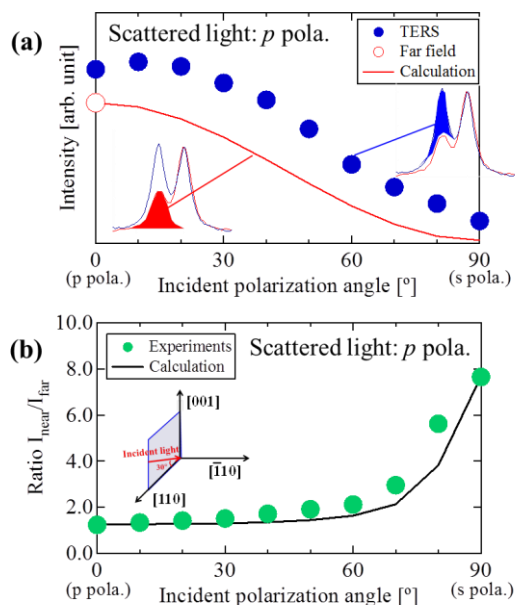


図 7 (a) TERS 信号, およびバックグラウンドの入射偏光依存性, (b) バックグラウンドに対する TERS 信号比の入射偏光依存性

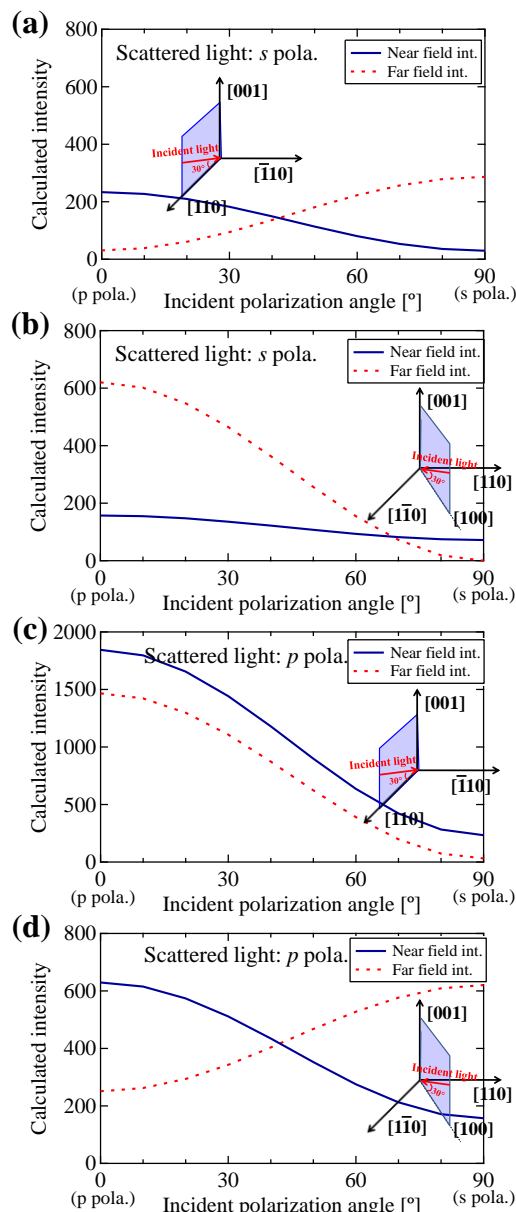


図 8 各種配置における TERS 信号、およびバックグラウンドの入射偏光依存性 (計算結果)

- [1] 若林整、応用物理、**82**, 292 (2013).
- [2] Y. Saito, M. Motohashi, N. Hayazawa, M. Iyoki, S. Kawata, Appl. Phys. Lett. **88**, 143109 (2006).
- [3] N. Hayazawa, T. Yano, and S. Kawata, J. Raman Spectr. **43**, 1177 (2012).
- [4] W. X. Sun, Z. X. Shen, J. Raman Spectr. **34**, 668 (2003).
- [5] I. De Wolf, J. Vanhellefont, A. Romano-Rodriguez, H. Norström, and H. E. Maes, J. Appl. Phys. **71**, 898 (1992).
- [6] T. Yamaguchi, Y. Kawasaki, T. Yamashita, N. Miura, M. Mizuo, J. Tsuchimoto, K. Eikyu, K. Maekawa, M. Fujisawa, and K. Asai, Jpn. J. Appl. Phys. **50**, 04DA02 (2011).
- [7] N. Lee, R. D. Hartschuh, D. Mehtani, A. Kisliuk, J. F. Maguire, M. Green, M. D. Foster, A. P. Sokolov, J. Raman Spectr. **38**, 789 (2007).



- [8] S. Berweger, M. B. Raschke, Anal. Bioanal. Chem. **396**, 115 (2010).
- [9] M. Motohashi, N. Hayazawa, A. Tarun, S. Kawata, J. Appl. Phys. **103**, 034309 (2008).
- [10] C. C. Neacsu, S. Berweger, M. B. Raschke, Nanobiotechnol. **3**, 172 (2007).
- [11] S. Berweger, M. B. Raschke, Anal. Bioanal. Chem. **396**, 115 (2010).
- [12] R. Ossikovski, Q. Nguyen, G. Picardi, J. Schreiber, J. Appl. Phys. **103**, 093525 (2008).
- [13] R. Loudon, Adv. Phys. **13**, 423 (1964).
- [14] G. H. Loechelt, N. G. Cave, J. Menéndez, J. Appl. Phys. **86**, 6164 (1999).
- [15] R. Ossikovski, Q. Nguyen, G. Picardi, Phys. Rev. B **75**, 045412 (2007).
- [16] H. Hashiguchi, M. Takei, D. Kosemura, and A. Ogura, Appl. Phys. Lett. **101**, 172101 (2012).
- [17] L. Aigouy, A. Lahrech, S. Gréssillon, H. Cory, A. C. Boccaro, J. C. Rivoal, Opt. Lett. **24**, 187 (1999).
- [18] A. Merlen, J. C. Valmalette, P. G. Gucciardi, M. Lamy de la Chapelle, A. Frigout, R. Ossikovski, J. Raman Spectr. **40**, 1361 (2009).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

1. D. Kosemura, M. Tomita, K. Usuda, T. Tezuka, and A. Ogura, Measurement of Anisotropic Biaxial Stresses in  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$  Mesa Structures by Oil-Immersion Raman Spectroscopy, Japanese Journal of Applied Physics **52**, 04CA05-1-5 (2013). 10.7567/JJAP.52.04CA05 査読有り
2. K. Usuda, T. Tezuka, D. Kosemura, M. Tomita, and A. Ogura, Characterization of anisotropic strain relaxation after isolation for strained SGOI and SiGe/Si structure with newly developed high-NA and oil-immersion Raman method, Solid-State Electronics **83**, 46-49 (2013). 10.1016/j.sse.2013.01.042 査読有り
3. M. Tomita, M. Nagasaka, D. Kosemura, K. Usuda, T. Tezuka, and A. Ogura, Tensor Evaluation of Anisotropic Stress Relaxation in Mesa-Shaped SiGe Layer on Si Substrate by Electron Back-Scattering Pattern Measurement: Comparison between Raman Measurement and Finite Element Method Simulation, Japanese Journal of Applied Physics **52**, 04CA06-1-5 (2013). 10.7567/JJAP.52.04CA06 査読有り
4. M. Tomita, H. Hashiguchi, T. Yagaguchi, M. Takei, D. Kosemura, and A. Ogura, Super-Resolution Raman Spectroscopy by Digital Image Processing, Journal of Spectroscopy 2013, 459032-1-9 (2013). 10.1155/2013/459032 査読有り
5. D. Kosemura, K. Usuda, and A. Ogura, Investigation of Phonon Deformation Potentials in  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  by Oil-Immersion Raman Spectroscopy, Appl. Phys. Express **5**, 111301-1-3 (2012). 10.1143/APEX.5.111301 査読有り
6. H. Hashiguchi, M. Takei, D. Kosemura, and A. Ogura, Stress evaluation in thin strained-Si film by polarized Raman spectroscopy using localized surface plasmon resonance, Appl. Phys. Lett, **101**, 172101-1-3 (2012). 10.1063/1.4761959 査

読有り

7. D. Kosemura, M. Tomita, K. Usuda, and A. Ogura, Evaluation of Anisotropic Strain Relaxation in Strained Silicon-on-Insulator Nanostructure by Oil-Immersion Raman Spectroscopy, Japanese Journal of Applied Physics **51**, 02BA03-1-7 (2012). 10.1143/JJAP.51.02BA03 査読有り
8. M. Takei, H. Hashiguchi, T. Yamaguchi, D. Kosemura, K. Nagata, and A. Ogura, Channel Strain Measurements in 32nm-node CMOSFETs, Japanese Journal of Applied Physics **51**, 04DA04-1-5 (2012). 10.1143/JJAP.51.04DA04 査読有り

〔学会発表〕(計 29 件)

1. K. Usuda, D. Kosemura, M. Tomita, T. Tezuka, and A. Ogura, Characterization of anisotropic strain relaxation after mesa isolation for strained SGOI and SiGe/Si structure with newly developed high-NA and oil-immersion Raman method and NBD, The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, Nov. 22, 2012, Kona, Hawaii
2. H. Hashiguchi, M. Takei, D. Kosemura, A. Ogura, TO Phonon Excitation Using Surface Enhanced Raman Scattering for Stress Evaluation, The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, Nov. 20, 2012, Kona, Hawaii
3. D. Kosemura, M. Tomita, K. Usuda, T. Tezuka, and A. Ogura, Measurements of Anisotropic Biaxial Stresses in  $x=0.15$  and  $0.30$   $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  Nanostructures by Oil-Immersion Raman Spectroscopy, International Conference on Solid State Devices and Materials, Sep. 27, 2012, Kyoto
4. A. Ogura, D. Kosemura, M. Takei, and M. Tomita, Raman spectroscopy for strain measurement in state-of-the-art LSI, International Conference on Solid State Devices and Materials, Sep. 25, 2012, Kyoto
5. D. kosemura, J. M. Atkin, S. Berweger, R. L. Olmon, M. B. Raschke, A. Ogura, Polarized Dependence of Intensity from Strained Si on Insulator in Tip-Enhanced Raman Spectroscopy, International Conference on Raman Spectroscopy, Aug. 13, 2012, Bangalore, India
6. K. Usuda, D. Kosemura, M. Tomita, A. Ogura, and T. Tezuka, Characterization of anisotropic strain relaxation after mesa isolation for strained SGOI and SiGe/Si structure with newly developed high-NA and oil-immersion Raman method, 2012 Intl. SiGe Technology and Device Meeting, Jun. 1, 2012, Berkley, USA

他 23 件

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

小瀬村 大亮 (KOSEMURA DAISUKE)  
 明治大学・理工学部 助教  
 研究者番号 : 00608284