Osaka University Knowledge Archive

Title	先端増強ラマン分光顕微鏡による半導体結晶の局所歪み評価
Author(s)	本橋, 正史
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57533
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【78】

氏　　名	本　橋　正　史（もと はし まさ し）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２３７９６　号
学位授与年月日	平成22年３月23日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学　位　論　文　名	**先端増強ラマン分光顕微鏡による半導体結晶の局所歪み評価**
論文審査委員	（主査） 教　授　河田　　聡 （副査） 教　授　菅原　康弘　　教　授　小林　慶裕 教　授　播磨　　弘（京都工芸繊維大学工芸学部工芸科学研究科）

論　文　内　容　の　要　旨

本論文では、光学顕微鏡と近接場顕微鏡を組み合わせた先端増強ラマン分光顕微鏡により、トランジスタや電子デバイスに施される歪みシリコン層の局所的歪みをナノメートルの分解能で可視化する事を提案した．歪みシリコン層とは、Si結晶成長時に格子定数の大きなGeを混入することで、格子間隔を制御したSi結晶層の事で、通常のSi結晶層より格子間隔の広いSi結晶層である．ナノメートルの分解能で結晶内歪みを測定できる手法の開発は、近年の重要課題となっているが、現時点において実現には至っていない．このため、高精度且つ広範囲で歪みを測定できる(ナノメートルの分解能とマイクロメートルの視野を持つ)方法として、先端増強ラマン分光顕微鏡を用いた光測定法を提案した．

まず、歪みシリコン層に488 nmの励起光を照射し、顕微ラマン測定を行った．試料にはGeを25%注入したSiGe層上にSi層を30 nm成長した歪みシリコン層を準備し、歪みシリコン層でのSiフォノンをラマン検出する．結果として513.8 cm^{-1}に歪みシリコン層からのラマンピーク、504.9 cm^{-1}にSiGe層からのラマンピークを検出し、Siフォノンによるラマ

ンピークは格子に引張り応力がかかる事で低波数側にシフトし、圧縮応力がかかる事で高波数にシフトすることを確認した.

次に表面増強ラマン測定法（SERS）にて同歪みシリコン層に対する測定を行った．金属薄膜には厚さ8 nmの銀薄膜を真空蒸着法にて作製した．励起光の波長には442 nmを用い、歪みシリコン層からのラマンピーク(515.3cm^{-1})のみを選択的に増幅して検出することに成功した.

次に金属微粒子膜の代りに、金属プローブを用いた近接場ラマン測定法（TERS）に取り組んだ．金属プローブには厚さ50 nmの銀を真空蒸着したSi_3N_4製プローブを使用した．励起光(442 nm)の集光スポット内部へと金属プローブを挿入し、歪みシリコン層からのラマンピークの増幅を確認した．さらに金属プローブを走査させることで、試料表面の歪み分布をナノスケールの分解能で可視化することに成功した.

また、TERS測定においては、微小空間からのラマン散乱光を検出するため、信号強度はおのずと低下する．そのため、偏光を制御する事で、高コントラストな検出を可能とする偏光解消効果を用いたTERS測定法を提案した．この結果、10倍以上の高コントラストで歪みシリコン層からのラマン散乱光が検出できる事を示した.

最後に、表面数ナノメートルにおける結晶歪みを観察するため、紫外光を用いたTERS測定を行った．励起光の波長に355 nmを採用する事で、Si試料への侵入長は約5 nmに抑えられる事から、平面方向分解能30 nm、深さ方向分解能5 nmの先端増強ラマン分光顕微鏡が実現する．アルミニウム製のプローブを用いてTERS測定を行い、歪みシリコン層からのラマン散乱光の増幅を確認した.

論文審査の結果の要旨

歪みシリコンは、シリコン原子の格子間隔が伸張した結晶構造を有する。歪みの導入によりキャリア移動度が向上するため、半導体デバイスの高速化への応用が期待されている。シリコン基板上の歪みはラマン分光法を用いることで、フォノンを介してスペクトル解析できる。本論文では、先端増強ラマン分光法を開発し、歪みシリコン表面の応力分布の分析・評価をナノメートルスケールで行っている。以下に本論文の主な研究成果をまとめる。

1）原子間力顕微鏡を正立反射型の光学顕微鏡と組み合わせ、バルク・不透明試料を測定できる先端増強ラマン顕微鏡を設計・試作している。銀ナノ探針の先端に斜め上方から励起光(可視光)を入射し、その先端に生成したプラズモン・ポラリトンを利用して歪みシリコン表面のラマン散乱光強度を増強することに成功している。

2）偏光を制御する事で、先端増強したラマン散乱光の偏光解消測定を提案しており、バックグランド光の低減と10倍以上の測定感度向上を報告している。

3）歪みシリコン表面の先端増強ラマンイメージングを行っており、30nmの空間分解能で歪み分布を測定することに成功している。

4）励起光として紫外光を用い、シリコン基板への進入長の制限を提案している。また、アルミニウム製の探針を使うことで、歪みシリコンからのラマン散乱光の増幅を確認している。

以上のように、本論文では、先端増強ラマン分光顕微鏡装置を用いてシリコン基板上の局所歪みをナノメートルスケールで分析・評価する手法が提案され、実際にその有用性が実験的に示されている。この研究成果は、応用物理学、とくにナノ光学・ナノ分光学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。