The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	カソードルミネッセンス及びラマンの分光学的手法を用いた半導体デバイスの欠陥、応力評価法に関する研究
Author(s)	杉江, 隆一
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58399
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。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【99】

氏　　名	杉　江　隆　一（すぎ え りゅう いち）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２４５８４　号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学　位　論　文　名	カソードルミネッセンス及びラマンの分光学的手法を用いた半導体デバイスの欠陥、応力評価法に関する研究
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　佐藤　了平 （副査） 教　授　藤本　公三　　准教授　木村　吉秀　　准教授　岩田　剛治

論文内容の要旨

LSI(大規模集積回路)に代表される半導体デバイスは、より複雑な製造技術を導入しながら、着実に高集積化、高性能化を達成してきている。一方で、最終製品に対する品質・信頼性の要求もますます高くなってきており、デバイスの不良や故障の原因を解明することが年々困難になってきている。また新規デバイスの開発時間も短縮される傾向にあり、開発の早い段階で製造プロセスを最適化していくことが重要となってきている。そのため、評価・解析技術の重要性は年々高まってきている。特にデバイスの結晶欠陥や応力を評価できる有力な手法がないことから、結晶欠陥や応力を評価できる手法が強く望まれている。

本論文では、光学的現象であるカソードルミネッセンス(CL)とラマン散乱現象に着目し、これらの現象を用いた半導体デバイスの品質評価法としての応用について研究し、産業界で利用可能な欠陥、応力評価法としての確立を行った。CL法については、Si系デバイス評価において必須となる近赤外領域の高感度光検出が可能なシステムを開発するとともに、CLスペクトルの帰属や定量性について考察を行い、CL法で、TEM(透過型電子顕微鏡)では検出が難しいような点欠陥や微細な転位を評価でき、産業界でデバイスの欠陥評価法として十分利用可能であることを示した。またラマン分光法に関しては、応力導出原理の考察や試料加工条件の最適化等を行い、定常的に波数精度で±0.01cm^{-1}程度、応力換算で±3MPa程度を達成できる評価システムを開発した。

これらの装置を用いて、これまでほとんどメカニズム解明されてこなかった先端デバイス、プロセス評価への適用を試みた。具体的には、(1) ライフタイム制御絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)の点欠陥と電気特性との関連性の解析、(2) 次世代パワーデバイス材料である炭化珪素(SiC)を用いたPINダイオードの特性低下を引き起こす積層欠陥の発生メカニズム解明、(3) LSIパッケージ中のSiチップおよび3次元LSI実現のキープロセスである貫通ビア(TSV)構造が持つ応力の温度依存性評価、(4) LSIの素子分離プロセスにおける応力誘起結晶欠陥発生のメカニズム解明、に適用した。これらの中で、(4) 素子分離プロセスにおいては、トレンチエッチングで発生したSiN膜からの局所応力がその後の熱処理過程を経てSi中に転位を発生させること、発生した転位は消失することなくその後の熱処理プロセスでさらに成長し、デバイスの接合リーク不良を引き起こす真の原因となることを解明できた。CL法とラマン分光法を用いることで、素子分離プロセスの最適化時間も大幅に短縮できることを示した。

このように本論文で開発したCL法とラマン分光法は、半導体デバイスにおける欠陥、応力評価法として有効であり、今後広く産業界で用いられることで、デバイス不良原因の早期の解明や新規デバイス、プロセスの開発時間の短縮につながると期待できる。

論文審査の結果の要旨

近年高度情報化社会の進展に伴って、その発展のコアである半導体・LSI(大規模集積回路)の超高集積化が要求されている。特に、物理限界（～10nm)に迫る半導体の微細化と、3次元積層による高集積化という、最先端技術の開発が進められている。その一方で、最終製品の高品質・信頼性も要求されているが、益々複雑化するデバイスの不良や故障の本質的な原因を解明することが年々困難になってきている。また、新規デバイス開発の短サイクル化とともに、開発の早い段階での製造プロセス適正化と設計へのフィードバック(Design for Manufucturing)が強く求められている。そのため、デバイスの特性に影響する結晶欠陥や応力を広域かつ高分解能で評価できる新たな分析手法が強く望まれている。

本論文では、広域かつ高分解能で評価できる分析手法として、これまであまり利用されてこなかった光学的現象であるカソードルミネッセンス(CL)とラマン散乱現象に着目し、この問題の解決を目指した。 まず、CL法については、試料冷却システムの構築や高感度近赤外光検出器の取り付けを行い、Si系デバイス評価が可能な高感度近赤外領域光検出システムを開発するとともに、欠陥に由来する発光のメカニズムや定量性について考察を行い、TEMでは広域検出が難しい格子欠陥（点欠陥や線欠陥）をも評価できる、デバイス欠陥評価法を新たに見出した。また、ラマン分光法に関しては、応力導出原理の考察や試料加工条件の適正化を行い、定常的に波数精度で±0.01cm^{-1}程度、応力換算で±3MPa程度を達成できる評価システムを開発している。

さらに、これらの装置と評価手法を用いて、先端デバイス、プロセス評価への適用を試みた。具体的には、(1) ライフタイム制御絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)の点欠陥と電気特性との関連性の解析、(2) 次世代パワーデバイス材料である炭化珪素(SiC)を用いたPINダイオードの特性低下を引き起こす積層欠陥の発生メカニズム解明、(3) LSIパッケージ中のSiチップおよび3次元LSI実現のキープロセスである貫通ビア(TSV)構造が持つ応力の温度依存性評価、(4) LSIの素子分離プロセスにおける応力誘起結晶欠陥発生のメカニズム解明、に適用した。特に、(4)の素子分離プロセスにおいては、トレンチエッチングで発生したSiN膜からの局所応力がその後の熱処理過程を経てSi中に転位を発生させること、発生した転位は消失することなくその後の熱処理プロセスでさらに成長し、デバイスの接合リーク不良を引き起こす真の原因となることを解明し、今後の微細化限界設計に対して、重要な指針を与えている。さらに、CL法とラマン分光法を用いることで、素子分離プロセスの最適化時間も大幅に短縮できることを示した。

以上のように、本論文は微細化・高集積化する半導体デバイス全般における欠陥、応力評価法として有効であり、今後広く産業応用が期待できる。

よって、本論文は博士論文として、価値あるものと認める。