

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	半導体デバイス中不純物分析に対する 新規レーザーイオン化分析の開発
Title(English)	
著者(和文)	坏晴子
Author(English)	Haruko Akutsu
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12051号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤井 正明,田中 寛,中村 浩之,福島 孝典,野村 淳子
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12051号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物質電子化学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	()
学生氏名： Student's Name	坪 晴子		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	藤井 正明	
			指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

半導体製造・開発では、多くの新規技術開発が行われている。半導体開発・製造に用いられる物理分析技術も、分析装置の制御用コンピューターのマルチタスクが導入された 1995 年前後より、飛躍的に進歩を続けてきた。その結果、微小領域をみる物理分析技術は、STEM-EDX によって、原子列一列の元素分析が可能になり、APT では試料中に存在する原子の 80%を測定できるようになった。半導体デバイスの特性を解析するための物理分析は十分だと思われた。しかし、現場では、微量元素の濃度測定感度向上の問題が残された。半導体デバイスでは微量原子の添加で導電性を制御している。そのため、組成原子の主な配列だけではなく、領域中に添加されている微量の元素の分布も併せて把握していないと、電気特性を理解することができない。例えば、トランジスタのチャネルと呼ばれるシリコンの表面から数 10nm 以内の不純物の分布によってトランジスタの電気特性は大きく変わる。半導体の製造では、この領域の典型的な濃度、0.001%を制御しなくてはならない。一方、単純微細化による半導体デバイスの性能向上は、トランジスタではゲート幅で 50nm 程度以下から、メモリデバイスにおいては線幅 20nm 以下で限界を迎え、多種材料と 3D 構造を組み合わせた性能向上へと切り替わった。そのため、半導体の不純物濃度測定も平面構造の測定から、複雑な構造下での測定が求められるようになった。半導体の不純物濃度測定技術の筆頭である SIMS 技術は、1ppm の測定が可能な高感度な測定であるが、測定領域が 100 μ m $\times$ 100 μ m と大きく、微細化した小さなデバイスの微小領域を測定できないという問題が顕在化した。

一方、測定対象である微小領域での微量濃度はどうなっているかについて考察してみた。

例えば、シリコンの 1nm の立方体の場合、原子数はおおよそ 50 個になる。その場合、1%の濃度は定義できない。10%の濃度の場合は、原子 5 個を平均として、50%程度ばらついてしまう。このばらつきは、離散的であり量子化されていることを発見し、濃度のばらつきは原子 1 個の濃度に由来することから本質的あることが分かった。

測定対象の描像が分かったとことと並行して、SIMS の性能不足を改善する検討を進めた。

SIMS のイオン化効率を上げる方法として、スパッタ中性粒子質量分析法 (SNMS) が知られている。レーザーによるイオン化には、共鳴イオン化とトンネルイオンが知られているが、共鳴のように特定の原子に選択的な方法ではなく、多くの元素に適応が可能な強光子場レーザーによるイオン化を選択した。実験には、STEM や EDX 等では、高感度の検出が難しい B をイオン注入したシリコン基板を用いた。高い空間分解能と質量分解能を両立する FIB-ToF-SIMS 機を用いて、SIMS と SNMS の両方の条件で測定をした。その結果、強光子場レーザーを使ったイオン化により検出効率、すなわち測定の感度が 100 倍改善できる装置を開発した。

一方で、デバイスの微小領域を測定するためには、まだ空間分解能が足りないことから、我々が開発した SNMS の更なる感度向上のために、イオン化を起こしやすくするために UV レーザーを照射しながら強光子場レーザーも同時に照射する検討を行い、ここでもさらなる感度の向上を確認した。以上のように、微小領域での濃度測定の可能性を切り拓いた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).
注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	物質電子化学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 () Doctor of
学生氏名 : Student's Name	坪 晴子		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	藤井 正明
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In semiconductor manufacturing and development, many new technologies are being developed. Physical analysis technology has made remarkable progress in the last 20 years, and Transmitted electron microscope (TEM) and Ultra violet laser atom probe tomography (APT) have made it possible to measure close to one atom.

On the other hand, the elements necessary for knowing the electrical characteristics of a semiconductor are the composition, the crystal structure including the electron density of states, the trace amount, and the shape. Of these, the measurement of trace elements in a minute region is insufficient even with the latest technology described above.

In this thesis, it was mentioned that the minute measurement in the minute part is related to the definition of concentration itself and that the performance of the measuring device is insufficient. Furthermore, it was shown by numerical calculation that the minute PN junction position had fluctuations.

Next, the performance of conventional physical analysis was compared. Furthermore, in order to measure impurities, the measurement conditions required for low-concentration thin film measurement were extracted by secondary mass spectrometry (SIMS) and APT. Then, it was found that sufficient accuracy could not be obtained with the 100 μm square of the test pattern used in semiconductors.

Therefore, in order to improve the conventional measurement method, a sputtered neutral particle mass spectrometry method (SNMS) using tunnel ionization using a femtosecond pulse infrared laser was examined. For the measurement, a focused ion beam (FIB)-Time of flight (ToF)-SIMS device equipped with a Ga FIB, which has excellent surface resolution, was used. The silicon substrate ion implanted boron was used for measurements. As a result of this measurement, it was confirmed that FIB-ToF-SNMS has 100 times higher detection efficiency than the conventional FIB-ToF-SIMS.

However, unlike Cs-STEM, it is possible to make measurements that have reached the ultimate in a sense by observing the individual atom itself, but the impurity analysis has not reached the ultimate sensitivity. Further development is needed in the future.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).