

「ニュークリアマイクロプローブ による分析技術の開発」

大阪大学 基礎工学部 高井 幹 夫

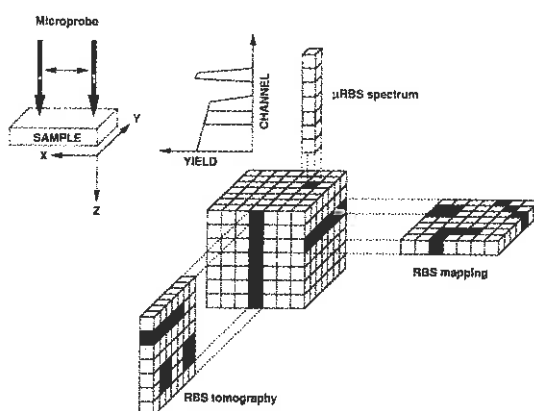
はじめに

ラザフォード後方散乱とチャネリング効果を用いたイオンビーム分析技術は、半導体集積回路（IC）の飛躍的発展の基盤技術となったイオン注入技術の開発期に、その重要な役割を果たしたが¹⁾、ICの集積度が高まり、最小加工線幅が数ミクロンからサブミクロンに至る最近のVLSI（超大規模集積回路）の開発プロセス過程に対しては、プローブのビーム径が数百ミクロンと大きいため、有効な分析手段とならなかった。一方、プローブビーム径を集束してPIXE分析に用いる、いわゆるニュークリアマイクロプローブ技術は、70年代から80年代にかけて、主としてヨーロッパにおいて生物医学試料や環境学考古学試料及び冶金学試料に対して用いられた²⁾。

本研究では、超高密度化・超高速化の進む半導体デバイスの開発プロセスにニュークリアマイクロプローブによる分析法を導入し、次世代デバイスの開発を促進させるための、新しい3次元非破壊分析技術を開発することを目的とした。

マイクロプローブの形成と三次元非破壊分析

数百keVからMeVのエネルギーに加速されたプロトンまたはヘリウムイオンを対物スリットと4重極ダブレット電磁レンズを用いて集束することにより、約0.7ミクロン径のニュークリアマイクロプローブを得ることができる³⁾。さらに、イオンの加速系と一体化した中エネルギーの集束イオンビーム装置によれば、液体金属イオン源を用いることによりビーム径は50ナノメートル程度まで集束できる³⁾。このマイクロプローブを、図1に示すように試料上を走査し、試料上のそれぞれの点に対する後方散乱スペクトルを測定する。この局所後方散乱データを計算機処理することによ



り、或る特定の深さの構造の面内マッピング、または、ある特定の断面マッピング図（トモグラフィ）を得ることができる。さらに、データを3次元処理することにより、試料の3次元構造を非破壊で知ることができる。

図2に、2層の電極構造を持ったシリコンのテストデバイス構造(a)とこれに対する3次元分析像(b)、(c)を示す。2層の電極構造を非破壊で測定することが可能(b)で、第2層目の電極構造を試料をエッチングすることなく非破壊で検査することができ、図2(c)ではプロセス欠陥による配線の断線が起こっていることがわかる。さらに、マイクロプローブの径を小さくすることにより、100ナノメートル以下の構造もこのように3次元分析及び可視化することが可能である。

図3に局所的に集束Gaイオン注入したガリウム砒素試料のチャネリングコントラスト像を示す。

局所的にイオン注入された領域では、非晶質層が形成され、入射したプローブイオンの散乱収率が増加するためコントラスト像が得られる。図3

では、イオン注入量が増加するにつれて、局所的な結晶欠陥が増加するためにコントラスト像の濃度が増加しているのがわかる。このように、集束イオン注入した局所的な欠陥を非破壊で分析することができる。さらにこの方法により欠陥の3次元分布や重元素の局所分布を得ることができる。

以上のように、ニュークリアマикроプローブと局所後方散乱を組み合わせることにより、微細構造の非破壊3次元分析が実現できる。

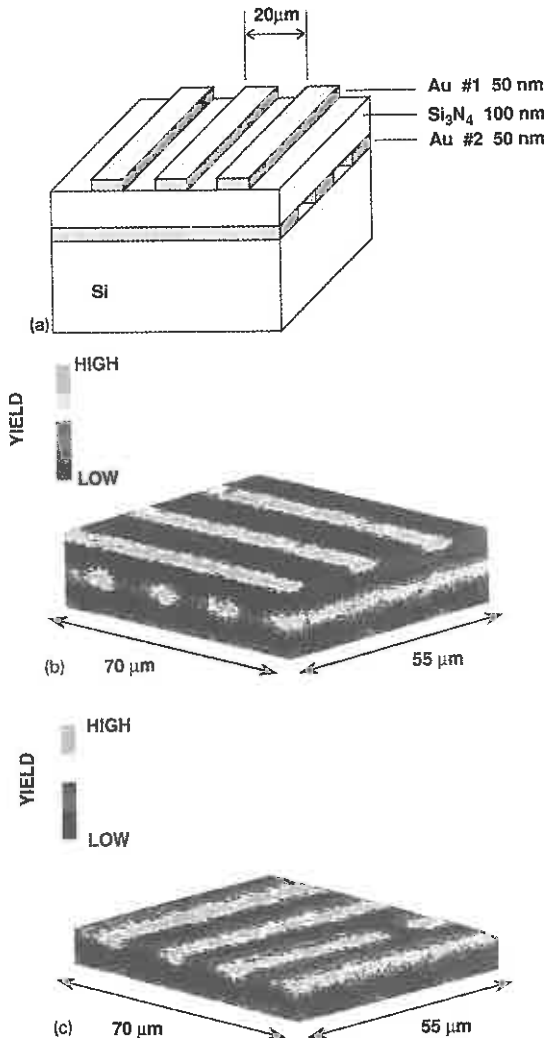


図2 2電極構造の模式図(a)と分析後の3次元像(b)及び計算機処理により第1層を除去した3次元像(c)

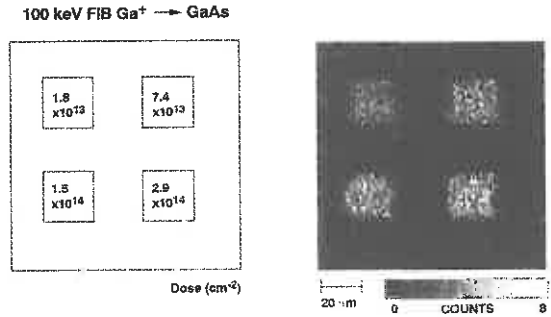


図3 局所イオン注入領域のチャネリングコントラスト像

DRAMのソフトエラー耐性評価

ニュークリアマикроプローブをアメリカシウムなどの放射線源の代わりに用いてシングルイベントアップセット(SEU)を起こすことにより、従来では不可能であったULSIメモリー(DRAM)のソフトエラー耐性を局所的に明らかにすることができる。DRAMのソフトエラーとは、DRAMチップの配線材料やパッケージ材料に含まれるウランやトリウムなどの放射性同位元素より放出されるアルファ線によってメモリー素子の記憶状態が乱されることである。DRAMの開発の問題点の一つに、記憶のためのメモリーセルの低容量化縮小化があるが、これによりソフトエラー耐性が劣化する。このためDRAMの局所的なソフトエラー耐性を明らかにすることができれば、次世代の素子設計のための問題の一つを解決することになる。

図4にニュークリアマикроプローブを放射線源のかわりに用い、動作状態の16メガビットDRAMテストチップ上を走査したときの2次電子像とソフトエラーマッピング像を示す。図には、メモリーセルの位置を明確にするため電極配置図があわせて示してある。これより、プローブがモニターしたセルの位置とビット線のノード位置に達したときに、情報「1」が「0」となるソフトエラーが起きていることがわかる。さらに、場所によりソフトエラーの起こるモード(セルモードとビット線モード)が異なっていることがわかる。

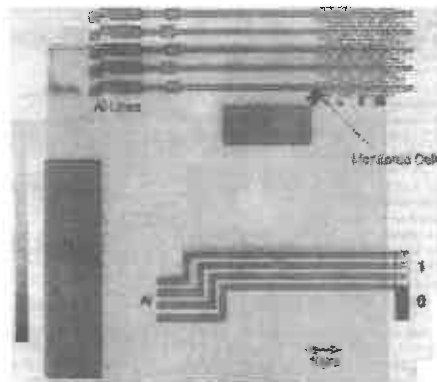


図4 16メガビットDRAMテストチップの
ビット状態のマッピング図

また、この測定はシングルイオンを用いるのではなく、多数のイオンによる加速試験法として利用することができる。さらに、この方法とマイクロプローブによる誘起電流(IBC)を測定することにより、メモリー素子の構造の最適化を行なうことができる⁴⁾。

まとめ

イオンビームをミクロンからナノメートルまでに収束したニュークリアマイクロプローブを形成し、これを用いたマイクロエレクトロニクス・デバイス構造の3次元非破壊分析技術を初めて開発した。これにより、微細化の進む半導体素子のプロセス開発のマイクロプローブによる非破壊分析診断を初めて可能とした。さらに、この技術により、16メガビットメモリー素子の設計開発の指針の一つを明らかにした。

参考文献

- 1) H. Ryssel and I. Ruge, Ion Implantation (John Wiley & Sons, New York, 1986)
- 2) F. Watt and G. W. Grime, Principles and Applications of High Energy Ion Microbeams (Hilger, Bristol, 1987)
- 3) M. Takai, Nucl. Instr. and Methods B85 (1994)
- 4) M. Takai, Nucl. Instr. and Methods B85 (1994)

【事業報告】

《くらしと放射線知識普及事業》

☆ 春の放射線利用技術講演会として次の講演会を開催

とき 平成7年3月16日(木)
ところ 大阪府立大学 総合情報センター
内容 理化学研究所 理事長 有馬朗人氏
(元 東京大学 総長)
による『先端科学技術の推進と大学の役割』について講演を聞いた。

参加者 700名

なお、本講演会は大阪府立大学先端科学研究所の新本館開所式典の一環として研究所と共催した。

《技術研究会等の開催》

☆ 先端放射線利用研究会

第27回 講演会

とき 平成7年3月10日(金)

ところ 非破壊検査ビル

演題

① THM法によるCdTe放射線検出器の特性と応用

ジャパンエナジー(株) 小野塚 新

東洋メディック(株) 谷口 明

② SPring 8の現状と産業界への活用

財)高輝度光科学研究センター

林田 敏明