

1. Cu 配線のX線マイクロビームによる評価

(株)日立製作所 基礎研究所 長谷川 正樹

mhasegaw@harl.hitachi.co.jp

半導体素子の微細化と高速化を進む中、配線の信頼性確保および配線遅延低減のため、Cu 配線が導入されているが、Cu はこれまでの配線材料である Al (あるいは Al(Cu)合金)とは質的に異なっており、Cu 配線導入の過程で様々な新しいプロセスを生み出している。まず、Cu は緻密な自己保護膜を形成せず Si へ拡散しやすいため、Ti や Ta およびこれらの窒化物等を用いたバリアメタル極薄層の形成が必要となっている。また、Cu の成膜は、エレクトロマイグレーション耐性の高い bamboo 構造にするためメッキ法が使われている。さらに、Cu の加工においては、高精度ドライエッチングが難しいため、CMP を用いたダマシンプロセスにより配線が形成されている。

Cu 配線の導入においては、このように材料のみならず構造や加工法自体も大きく変わることになり、配線信頼性において新しい物理的理解が必要となっている。例えば、ダマシンプロセスではあらかじめ絶縁膜に形成された溝中に配線を形成するため、結晶粒の成長は空間的に制限された領域で起こり、blanket 膜からパターンニングされたものと異なると考えられる。特に、配線中の結晶粒の応力状態は、配線寿命に大きな影響を及ぼすエレクトロマイグレーション過程を支配するため、配線信頼性向上のためには重要な物理量であるが、微細ダマシンプロセス中の結晶粒の応力状態計測は、従来の手法では十分な情報を得ることができなかった。

近年、X 線マイクロビームを用いた配線内結晶の応力状態計測が、とくに APS、ALS 等で精力的に行われるようになってきた。X 線マイクロビームを用いれば、微小な領域にのみ X 線を照射することができ、結晶粒からの回折を仔細に分析することで結晶粒の応力状態を知ることができる、という期待がある。また、X 線のもつ高い透過性によって、保護膜下での応力状態も計測することができるであろう。本報告では、X 線マイクロビームによる配線結晶粒観察の現況を概説すると共に、サンビームにおける観察例を紹介する。

Cu配線のX線マイクロビームによる評価

日立製作所 基礎研究所

長谷川 正樹

Cu配線のX線マイクロビームによる評価

日立製作所 基礎研究所

長谷川 正樹

半導体素子のトレンド

International Technology Roadmap for Semiconductors, 2001 edition

year of production	01	02	03	04	05	06	07	10	13	16
DRAM half pitch (nm)	130	115	100	90	80	70	65	45	32	22
MPU half pitch (nm)	150	130	107	90	80	70	65	45	32	22
MPU gate length (nm)	65	53	45	37	32	28	25	18	13	9
Chip frequency (GHz)	1.68	2.32	3.09	3.99	5.17	5.63	6.74	11.5	19.3	28.7

配線技術(MPU)のトレンド

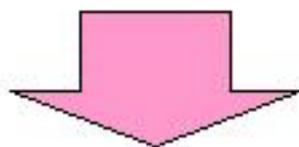
International Technology Roadmap for Semiconductors, 2001 edition

year of production	01	02	03	04	05	06	07	10	13	16
Number of metal levels	8	8	8	9	10	10	10	10	11	11
Jmax (MA/cm ²)	0.96	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.3	3.9
Local wiring pitch (nm)	350	295	245	210	185	170	150	105	75	50
Local wiring aspect ratio	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0

配線技術の転換

配線材料

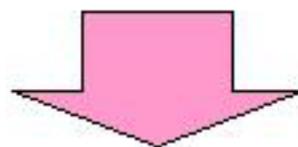
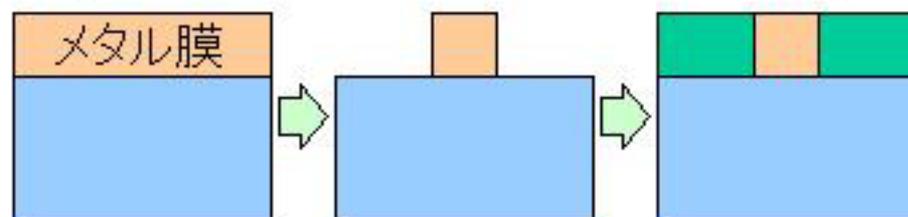
メタル: Al $\rho = 3.3 \mu\Omega\text{cm}$
 $E_{EM} = 0.4\text{eV}$
層間絶縁膜: SiO₂ $k = 4.2$



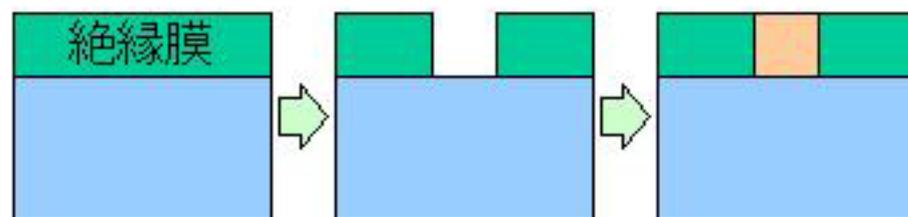
メタル: Cu $\rho = 2.4 \mu\Omega\text{cm}$
+バリアメタル $E_{EM} = 0.8\text{eV}$
層間絶縁膜: low-k材 $k < 2.7$

加工法

メタルエッチングによる形成

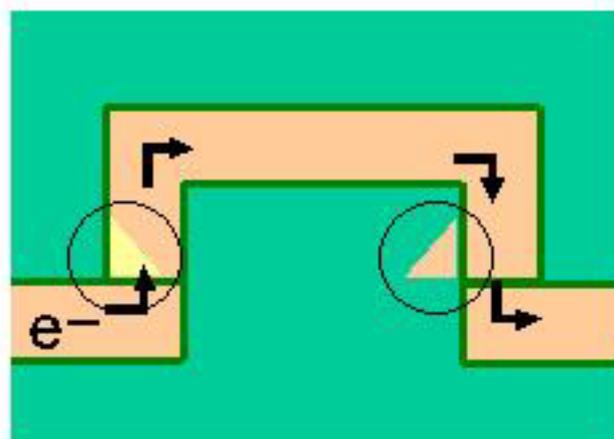


ダマシン法による形成



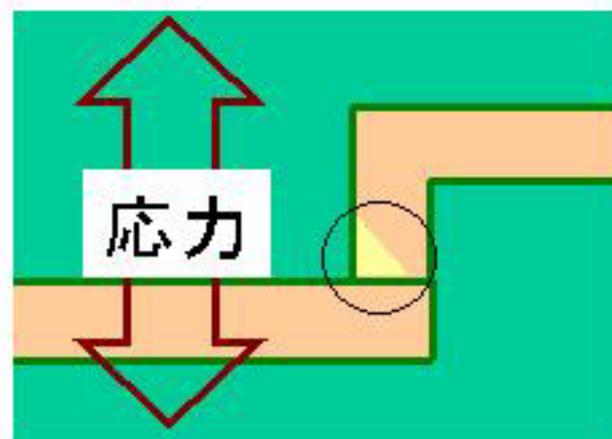
配線故障(断線, ショート)

エレクトロマイグレーション



ボイド ヒロック

ストレスマイグレーション



ボイド

微細領域における結晶粒の状態

歪, 応力状態
配向性

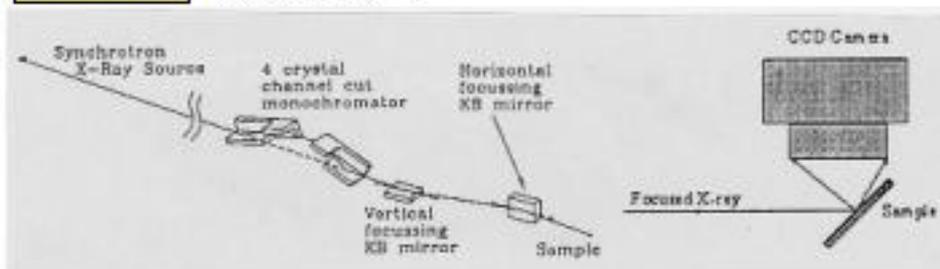
Cu配線不良計測技術

計測対象	計測技術
ポイド発生	SEM, TEM
結晶粒配向分布	EBSD, FIB X線マイクロビーム
歪, 応力	X線 X線マイクロビーム

X線マイクロビームを使った配線分析の状況

ALS

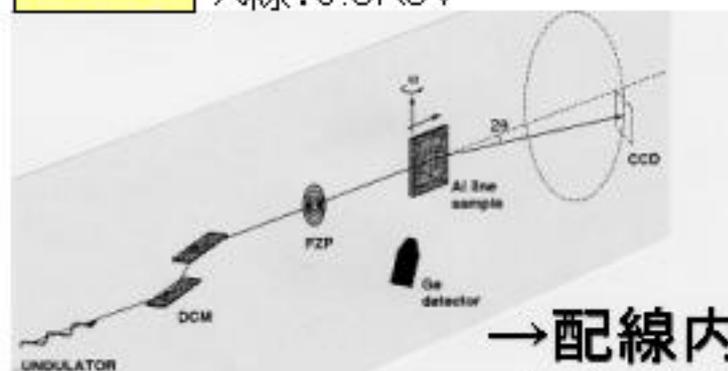
KBミラー(ビームサイズ: $0.8\mu\text{m}$)
X線: 白色



→ 結晶粒歪, 配向分布
M.R.S.S.P. 615, G7.3.1, 2000

APS

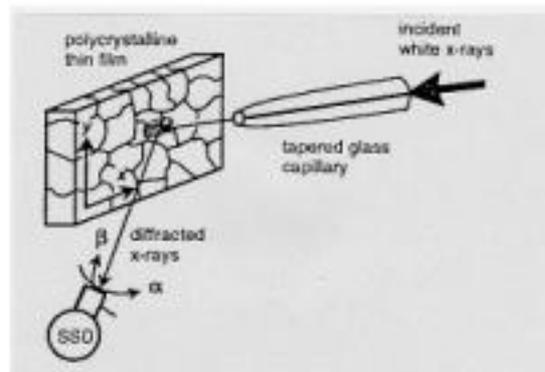
位相ゾーンプレート(ビームサイズ: $0.8\mu\text{m}$)
X線: 9.5KeV



→ 配線内歪分布
J.A.P. 15, 884, 1999

NSLS

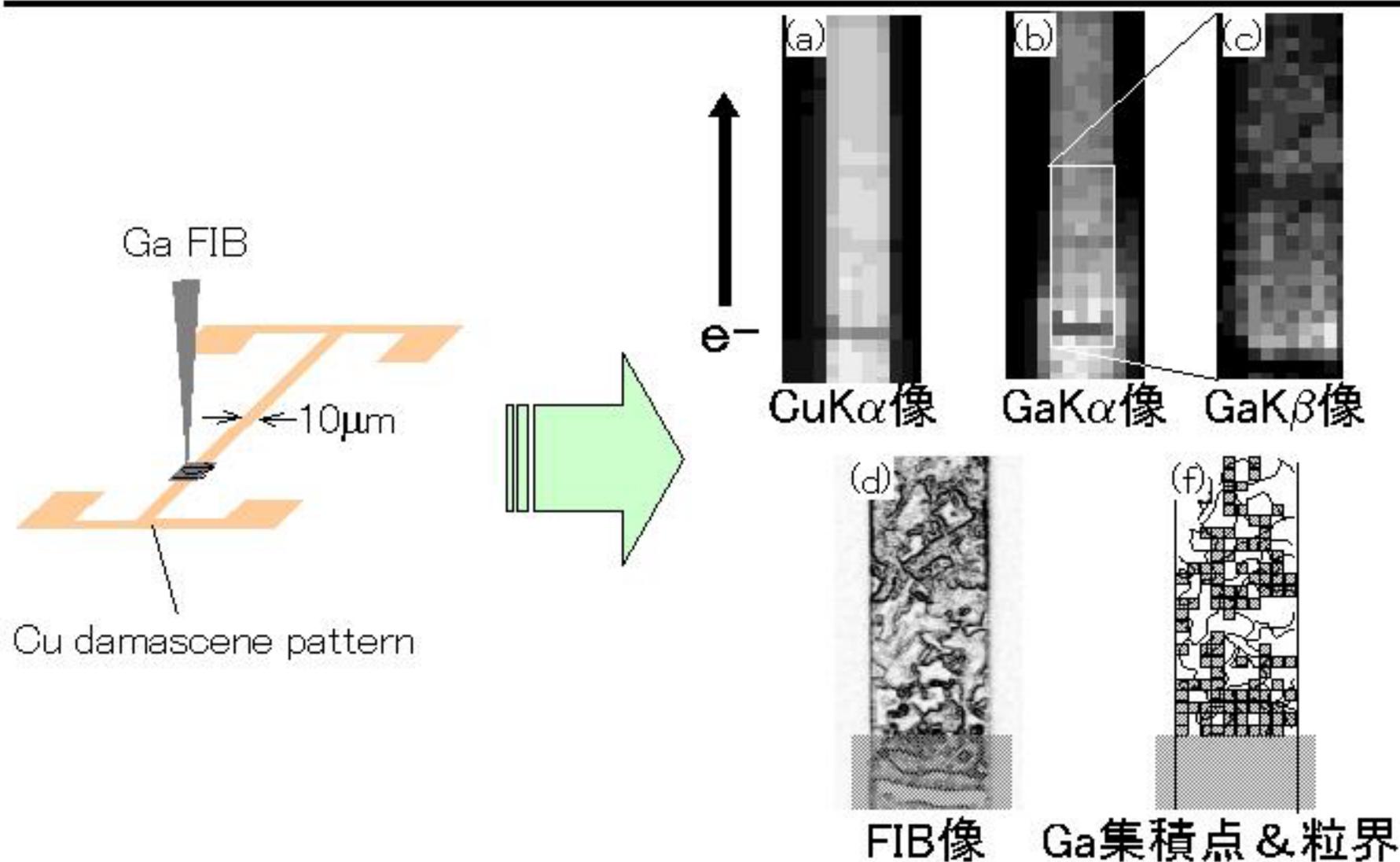
キャピラリ(ビームサイズ: $5\mu\text{m}$)
X線: 白色, 8.5KeV



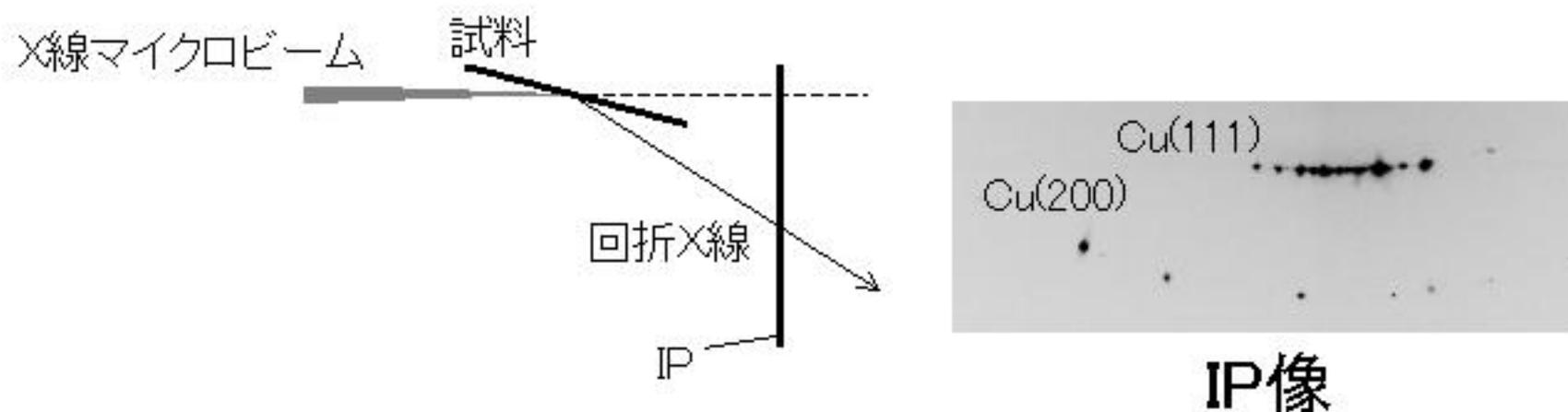
→ { 配線歪分布
基板歪分布
Al(Cu)配線内Cu拡散

*M.R.S.S.P. 427, 35, 1996; A.P.L. 72, 1296, 1998;
A.P.L. 76, 3726, 2000; A.P.L. 78, 2712, 2001*

走査型蛍光X線顕微鏡法を使った原子拡散経路の観察



X線マイクロビーム回折を用いた結晶粒解析



回折スポットの詳細解析 → 結晶粒の歪
→ 局所的解析 (ピア端等)