

ナノテク・部材イノベーションプログラム／エネルギーイノベーションプログラム  
／ITイノベーションプログラム

---

---

「次世代高度部材開発評価基盤の開発プロジェクト」プロジェクト

## プロジェクトの詳細説明資料

### Ⅲ. 研究開発成果について(公開)

#### Ⅲ. 2 研究開発項目毎の成果

##### Ⅲ. 2. 1 Low-k材料のダメージ耐性評価方法の開発

##### Ⅲ. 2. 2 統合部材開発支援ツール(TEG)の開発

##### Ⅲ. 2. 3 パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立

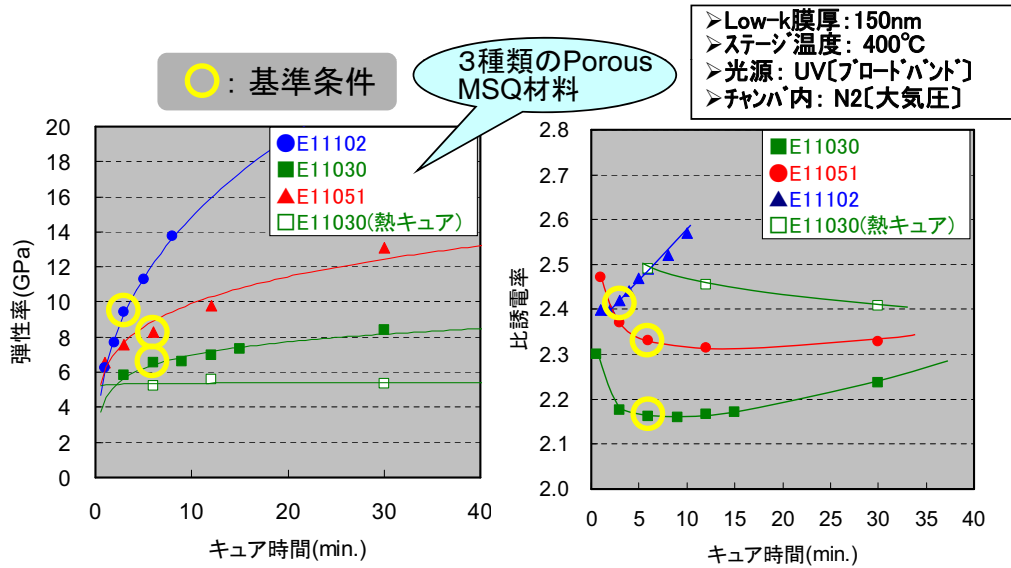
### Ⅲ. 2. 1 Low-k材料のダメージ耐性評価方法の開発

---

---

1. UVキュアの影響評価
2. 多層配線による評価
3. Low-k膜ダメージの評価方法
  3. 1 SiO-CVD
  3. 2 CMP
4. 有機Low-kを用いた多層配線プロセスの提案
5. まとめ

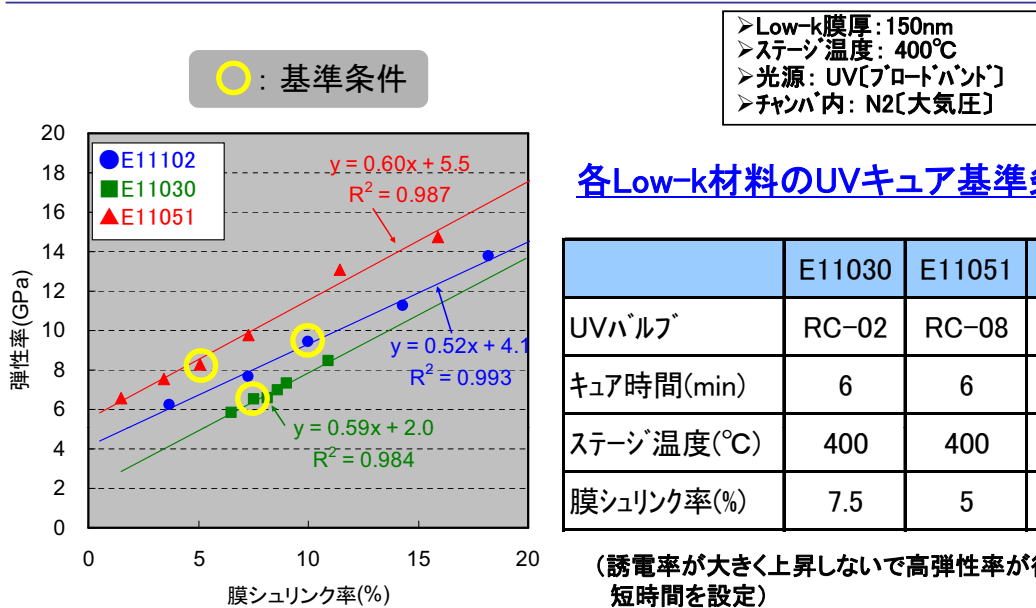
### 1. UVキュアの影響評価 (Low-k材料のキュア時間依存性)



- ・熱キュアに対し、UVキュアで高弾性率化と低比誘電率化が可能(E11030の比較)
- ・Low-k材料に依存して、UVキュア効果の時間依存性が異なる
- ・基準条件は、誘電率が大きく上昇しないで高弾性率が得られる短時間を設定

【関連特許: 特願2007-091733、特願2008-059536】

### 1. UVキュアの影響評価 (シュリンク率と弾性率の関係)



各Low-k材料のUVキュア基準条件

	E11030	E11051	E11102
UVバルブ	RC-02	RC-08	RC-08
キュア時間(min)	6	6	3
ステージ温度(°C)	400	400	400
膜シュリンク率(%)	7.5	5	10

(誘電率が大きく上昇しないで高弾性率が得られる短時間を設定)

弾性率は、膜シュリンク率とほぼ直線関係

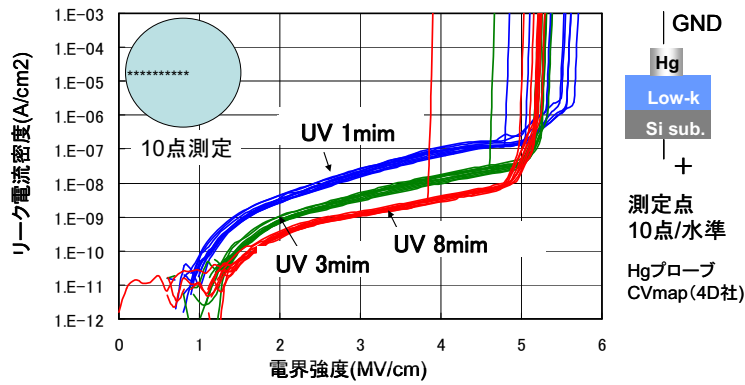
# 1. UVキュアの影響評価(キュア時間による膜物性の変化)

## キュア時間(3水準)と膜物性

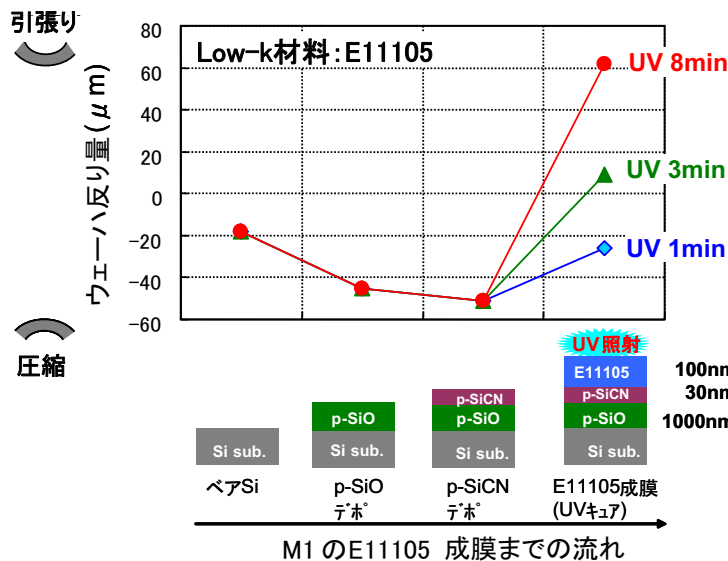
※E11105は、E11102の100nm 膜厚仕様

評価Low-k材料		unit	評価方法	E11105 (ホーラムSQ)		
UVキュア時間(ステージ温度:400°C)				1min	3min	8min
膜シリンク率		%	エリブソメリー	4	10	20
電気特性	k値		水銀プローブ	2.40	2.42	2.57
	リーク電流(3MV/cm)	e-9A/cm2	水銀プローブ	21.0	4.1	1.2
機械特性	弾性率	GPa	ナインテンション	6.2	9.4	13.8

## E11105 単層膜 IV特性

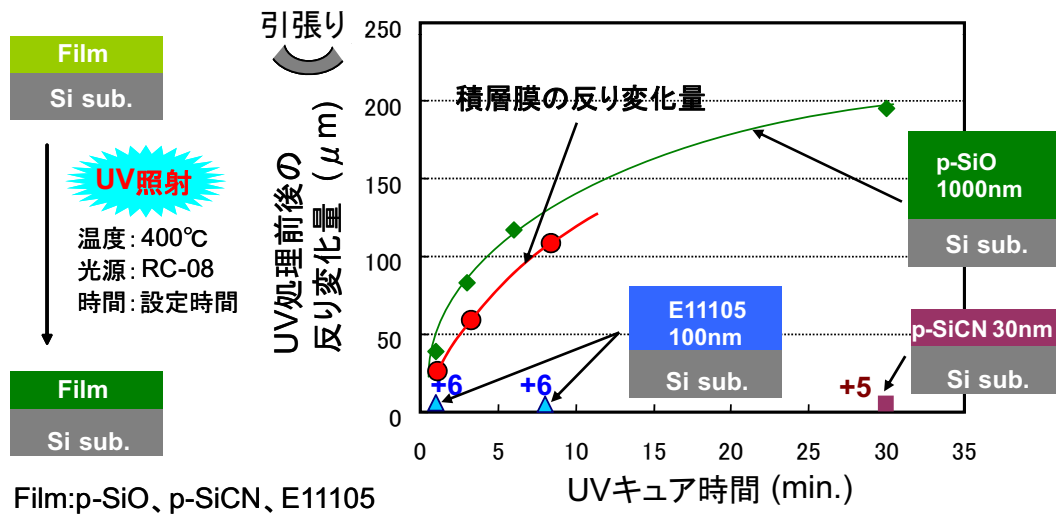


# 1. UVキュアの影響評価(試作の進行に伴うウェーハ反り)



## 積層膜でのウェーハそり量(300mmウェーハ)

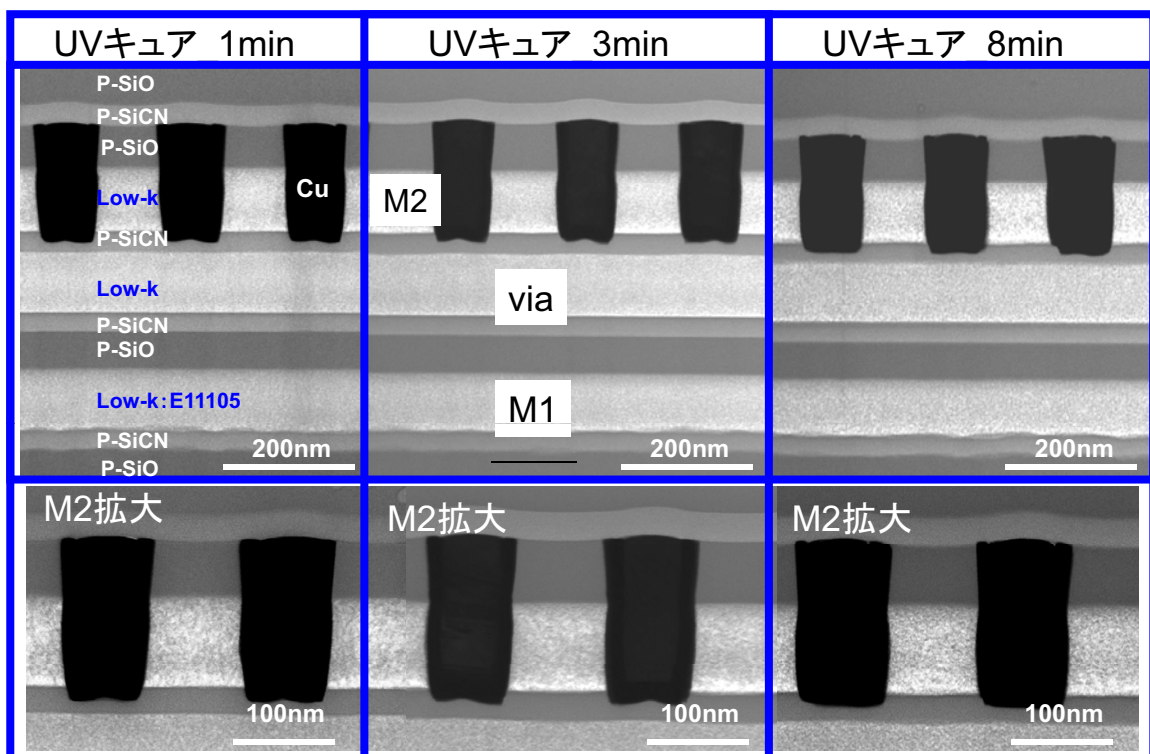
## 1. UVキュアの影響評価(各種絶縁膜のウェーハそり)



## UVキュア時間とウェーハ反り量の関係

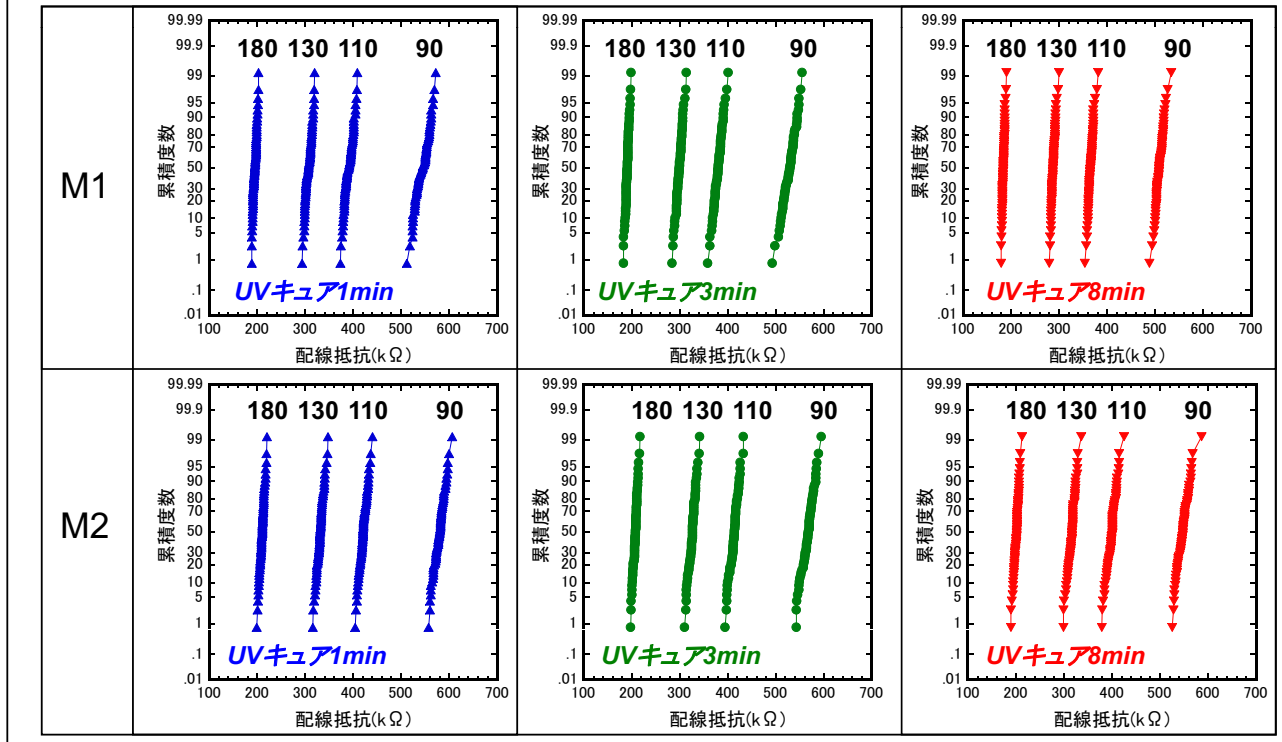
- ・積層膜のウェーハの反りは、p-SiOの反りに支配される
- ・UV光は相当部分(半分以上)Low-k膜を透過している

## 2. 多層配線による評価(断面観察)



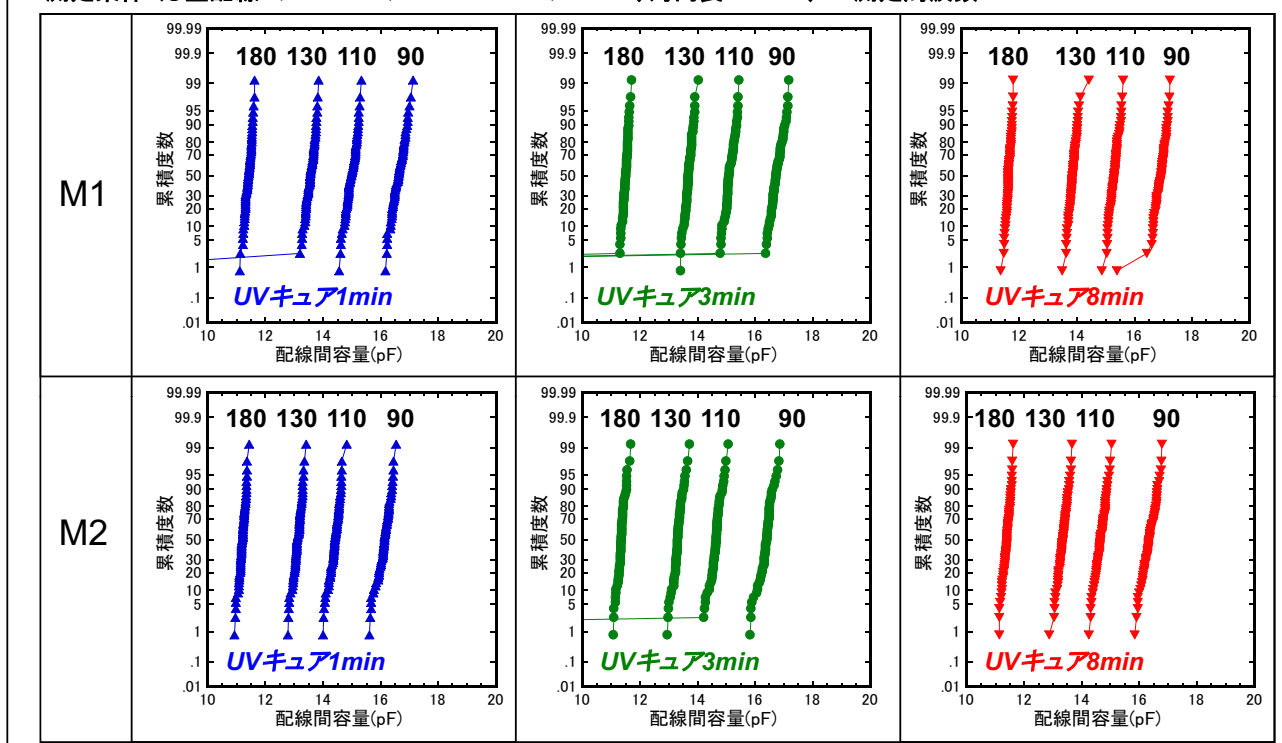
## 2. 多層配線による評価(配線抵抗測定)

測定条件: つづら折れ、L/S=90nm/90nm~180/180nm、配線長:200mm、測定電圧:100mV

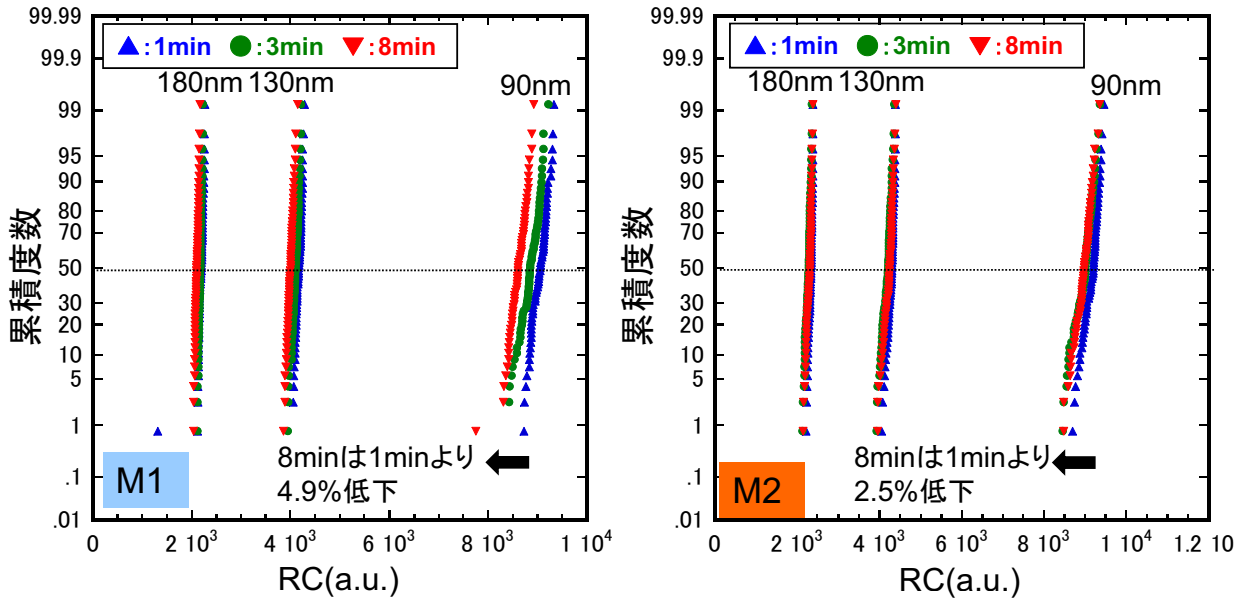


## 2. 多層配線による評価(配線間容量測定)

測定条件: &lt;L型配線 L/S=90nm/90nm~180nm/180nm、対向長:200mm、測定周波数:100KHz

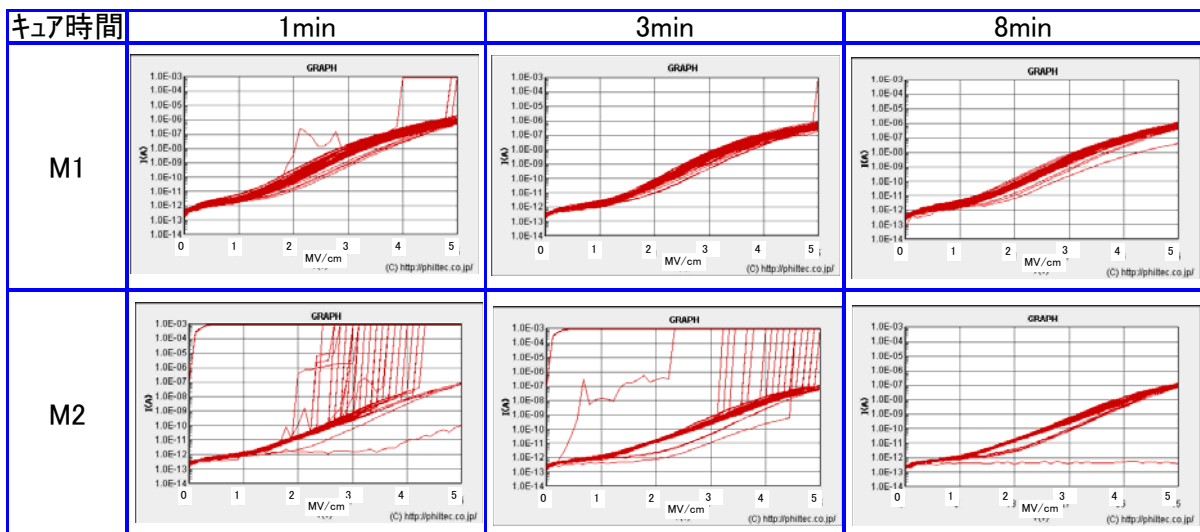


## 2. 多層配線による評価(抵抗・容量積)



## 2. 多層配線による評価(配線間リーク電流測定)

### 2層配線 I-V特性(90nm L/S、くし型配線:対向長100mm)



Low-k材料: E11105

※横軸: 電界強度 (MV/cm), 縦軸: リーク電流 (A)

### 3. Low-k膜ダメージ評価方法

◆プロセス影響評価

①成膜(積層化)

- ・キュア影響(UVキュア)
- ・CVD膜堆積(プラズマダメージ)
- ・吸湿(CR放置)

②配線加工

- ・エッチング/アッシング(プラズマダメージ)

③CMP

- ・圧力変化、Low-k直接CMP

④ダメージ防止技術

- ・ポアシール

⑤ウェーハレベル信頼性試験(配線特性の変化)

- ・PCT、温度サイクル、高温放置

◆Low-k膜物性評価

①単層膜

- ・k値/リーク電流/弾性率/シュリンク率(UVキュア)、膜組成、空孔(SAXS)

②積層膜

- ・密着性、積層膜厚/密度(XRR)、膜応力

### 3.1 SiO-CVD(積層膜厚測定の高精度化)

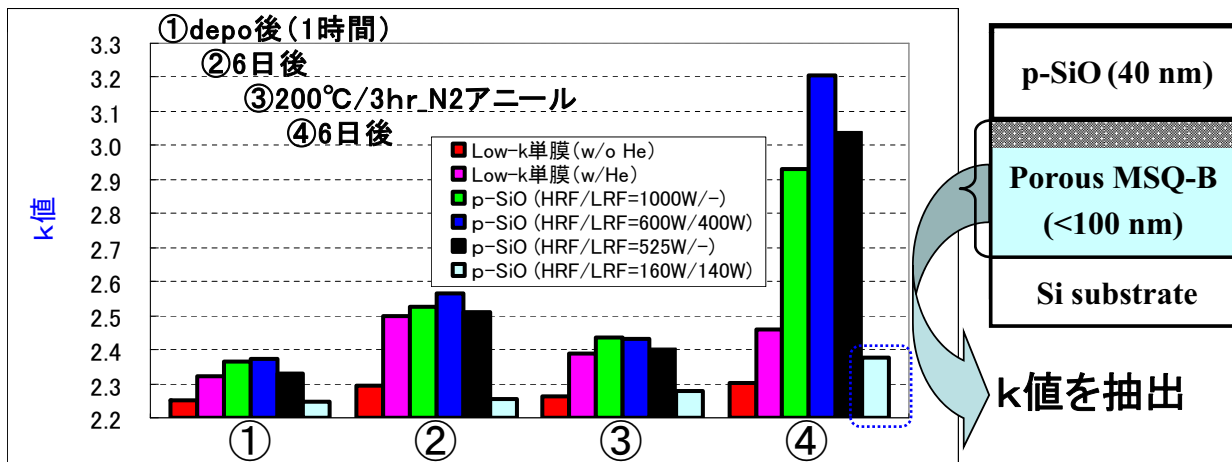
	XRR 測定	膜厚 (nm)	分光エリプソ測定
<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">分離可能</div> 膜密度にて膜厚分離	p-SiO Cap 設計膜厚 40nm	40.9	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">分離困難</div> 屈折率にて膜厚分離
	Low-k変質層	1.61	
	Low-k層 設計膜厚 100nm	3.07	50.1
		7.53	80.3
	Si 基板	74.5	合計膜厚
		127.6	130.4

➤XRR測定(X線反射率測定法)の場合、膜密度の違いからCap膜とLow-k変質層を分離でき、積層膜の各膜厚を正確に測定できるので、容量測定から比誘電率を正確に抽出できる。

【関連特許:特願2008-044320、特願2008-068823】

【関連外部発表No.:16、17】

### 3.1 SiO-CVD(比誘電率測定によるダメージ評価)



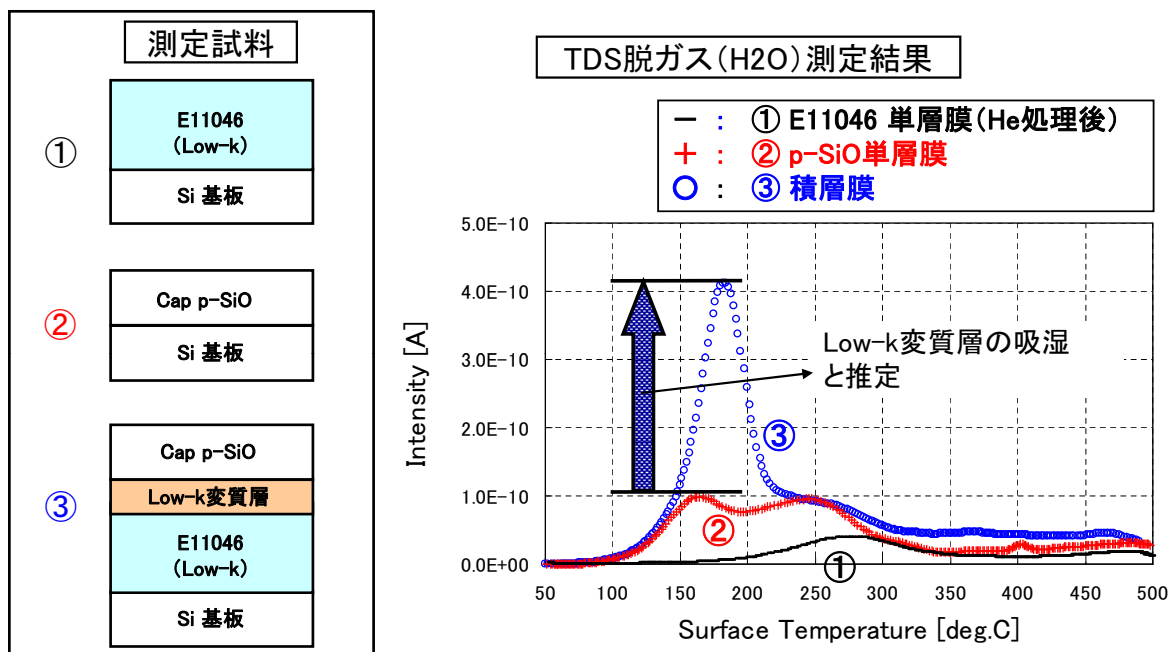
- ・SiO-CVDによるk値上昇量は10%以下
- ・大気中(CR内)放置によるk値上昇量が大きく、50%近くに達する
- ・k値上昇量が最も少ないSiO-CVDは、低パワーの2周波法である

【関連特許:特願2008-331592】

【関連外部発表No.:20】

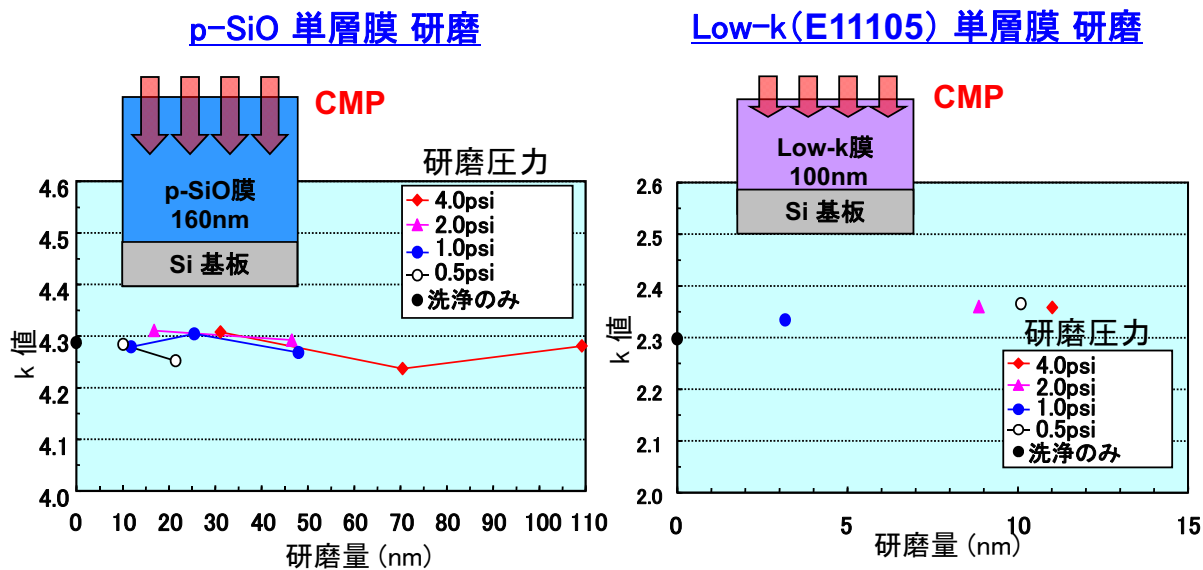
### 3.1 SiO-CVD(k値上昇要因)

単層膜/積層膜の脱ガス(H<sub>2</sub>O)測定(CR 6日間放置後[24°C/45% RH])





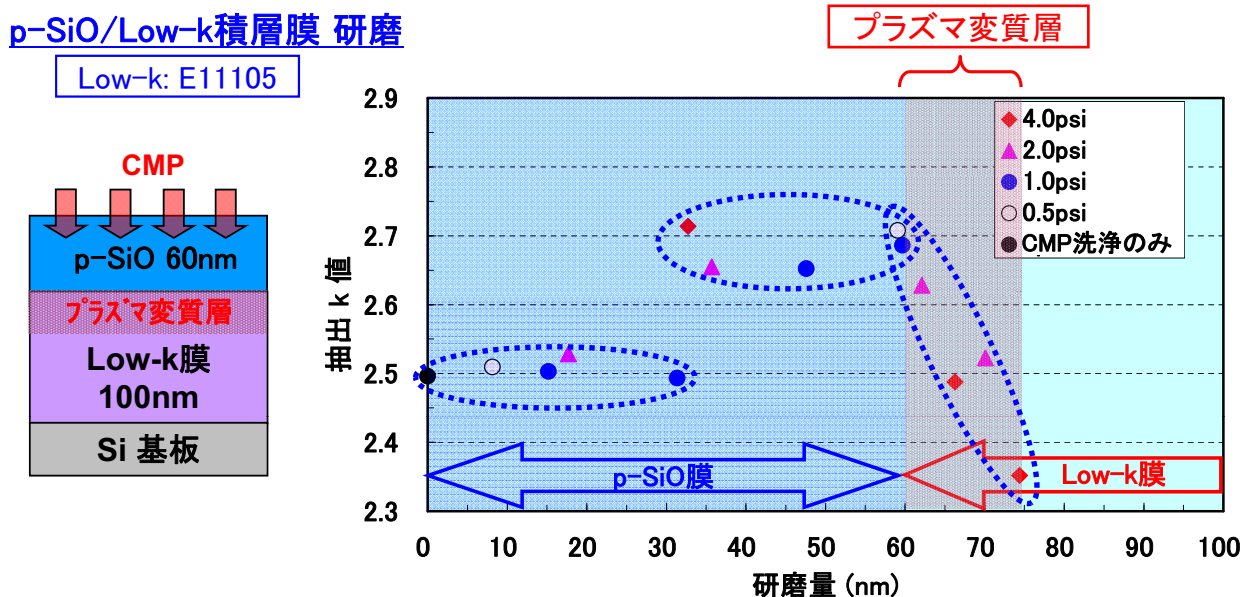
### 3.2 CMP(単層膜研磨によるダメージ)



・研磨圧力によるダメージ(k値上昇は)の違いはほとんど認められない

【関連特許: 特願2007-086268、特願2009-069313】

### 3.2 CMP(積層膜では研磨量に伴いk値が変化)



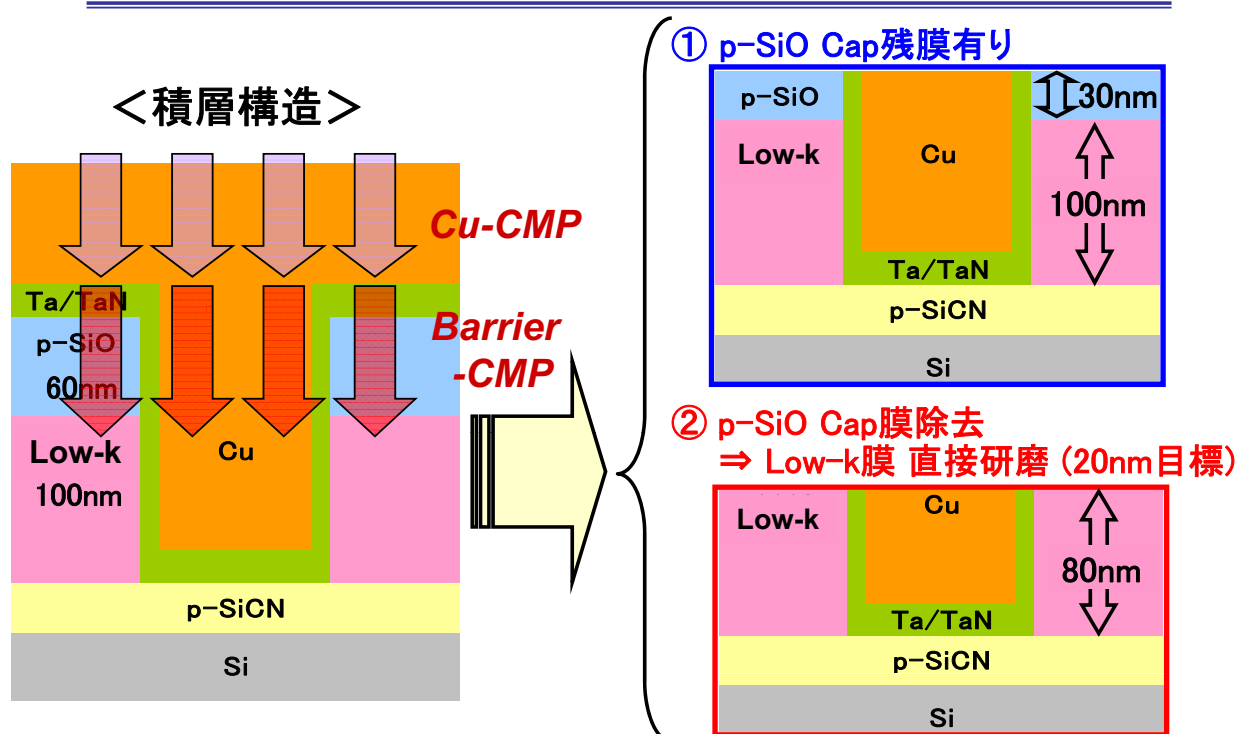
・研磨圧力によるk値変化よりもプラズマ変質層除去によるk値変化が顕著である  
 ・k値上昇は、プラズマ変質層の吸湿によると考えられる

### 3.2 CMP (各種のLow-k材料を用いたダメージ評価)

#### 評価Low-k材料の成膜条件と膜物性

Low-k	E11097	E11105	E11145	E11146	p-SiOC
UVキュア条件					
温度(°C)	400				-
時間(min)	6	3	4	4	-
膜物性@150nm					
Shrinkage (%)	5	10	9.2	12	-
誘電率	2.33	2.37	2.05	2.07	3.01
弾性率(GPa)	8.3	7.0	4.0	5.9	8.6
硬度(GPa)	0.91	0.81	0.43	0.60	0.96
材料選定の着目点	Porous MSQ k値: 2.3 - 2.4 弾性率: 7 - 9 GPa		Porous MSQ k値: 2.0 - 2.1 弾性率: 4 - 6 GPa		CVD系 リファレンス

### 3.2 CMP (ダメージ評価プロセス)



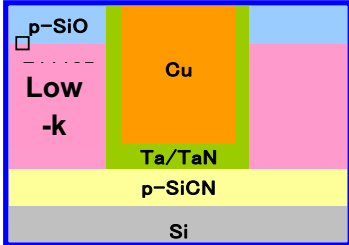
### 3.2 CMP (配線間リーク電流測定)

① p-SiO Cap残膜有り

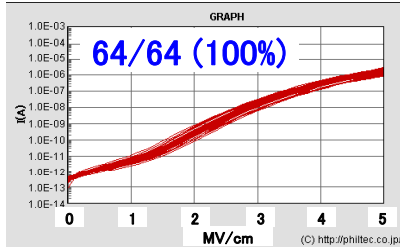
※ I-V特性と歩留り% @5MV/cm

L/S=90nm/90nm くし型配線 (対向長:100mm)

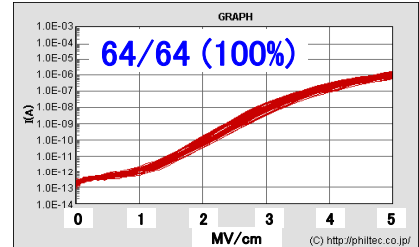
CMP 2psi



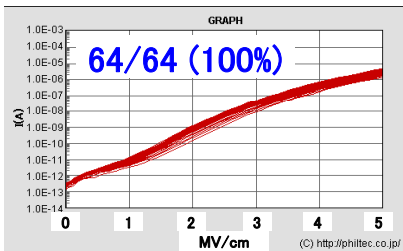
E11097



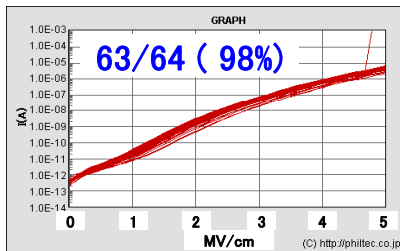
E11105



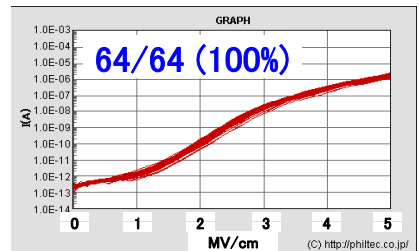
E11145



E11146



p-SiOC



・I-V特性に若干の差はあるが、歩留りではLow-k材料の差はない

### 3.2 CMP (配線間リーク電流測定)

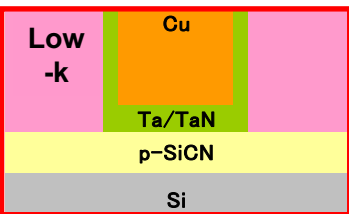
② p-SiO Cap膜除去

※ I-V特性と歩留り% @5MV/cm

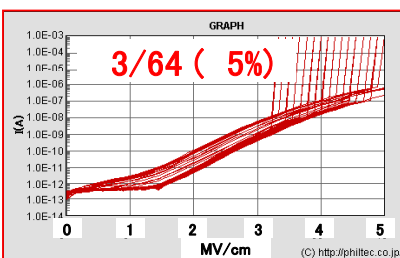
L/S=90nm/90nm くし型配線 (対向長:100mm)

⇒ Low-k膜 直接研磨

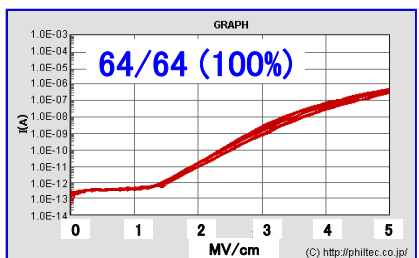
CMP 2psi



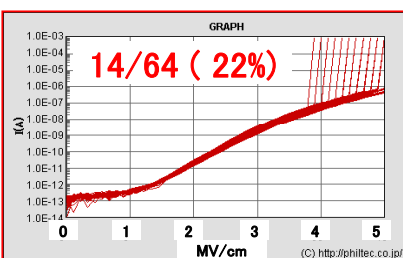
E11097



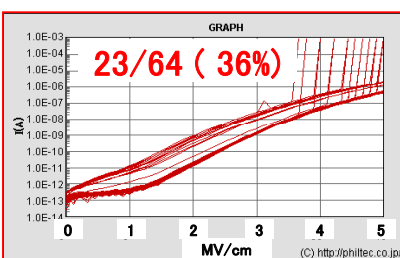
E11105



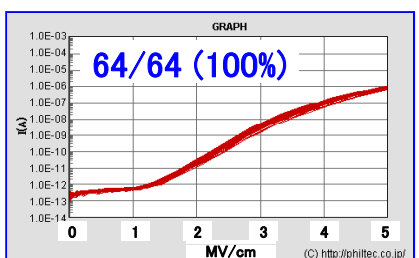
E11145



E11146



p-SiOC

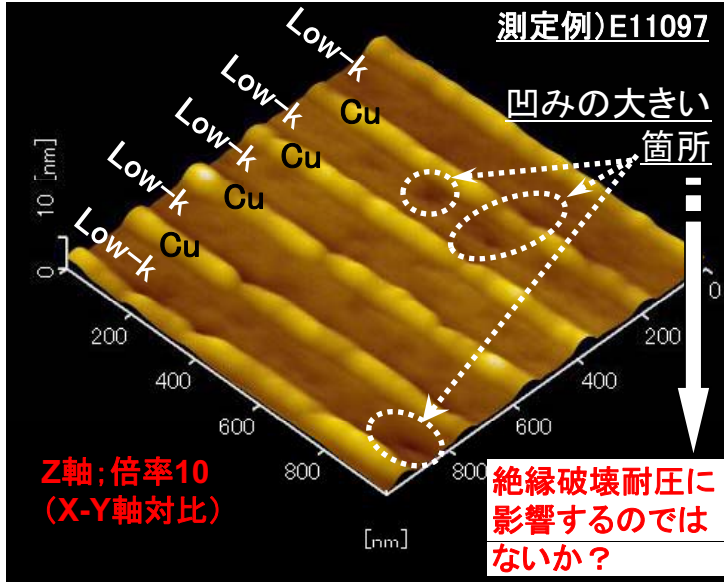


・p-SiOC、E11105以外のLow-k材料で歩留り低下が認められる

### 3.2 CMP (CMP後の表面粗さのAFM評価)

#### CMP後 表面粗さ解析

凹部; Low-k 凸部; Cu配線 研磨圧力; 2psi



Low-k部分のみを測定して、表面粗さを解析し、Ra, Rzそれぞれ5ライン分の平均値を計算。

Ra : 平均面粗さ  
Rz : 10点平均面粗さ  
P-V: 最大高低差

Low-k	Ra (nm)	Rz (nm)	P-V (nm)
E11097	0.08	0.45	1.31
E11105	0.06	0.31	0.66
E11145	0.08	0.37	0.85
E11146	0.08	0.42	0.96
p-SiOC	0.04	0.23	0.54

### 3.2 CMP (絶縁耐圧歩留りと表面粗さ)

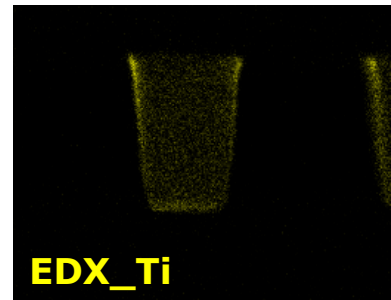
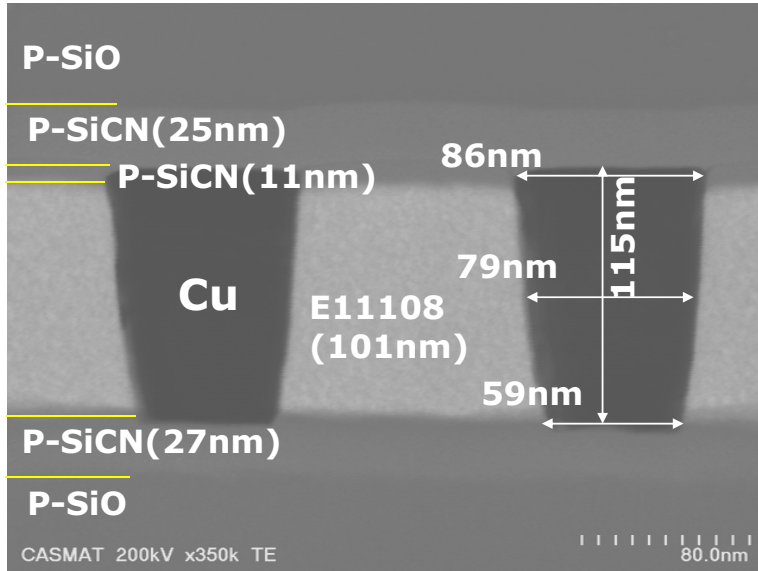
#### 配線試作評価 結果まとめ

項目	Low-k	E11097	E11105	E11145	E11146	p-SiOC
	膜物性					
膜物性	比誘電率	2.33	2.37	2.05	2.07	3.01
	弾性率(GPa)	8.3	7.0	4.0	5.9	8.6
Low-k 直接研磨 *2psiデータ	表面粗さ (nm) Rz	0.45	0.31	0.37	0.42	0.23
	P-V	1.31	0.66	0.85	0.96	0.54
	絶縁耐圧歩留り(%)	5	100	22	36	100
CMP圧力の影響		1psi と 2psi とで明確な差は見られなかった。				

・CMP後のLow-k膜の表面粗さ(Rz, P-V)が大きいほど、歩留りが低い傾向にある

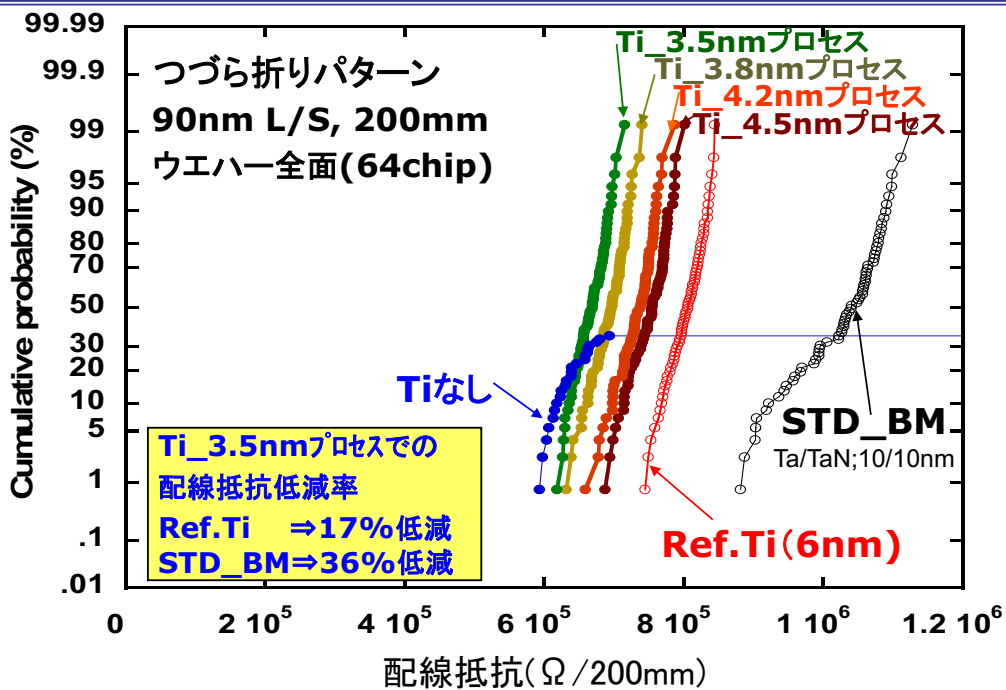
### 4. 有機Low-kを用いた多層配線プロセスの提案(断面形状)

#### Ti\_3.5nmプロセス(側壁Ti;1nm)での1層配線断面

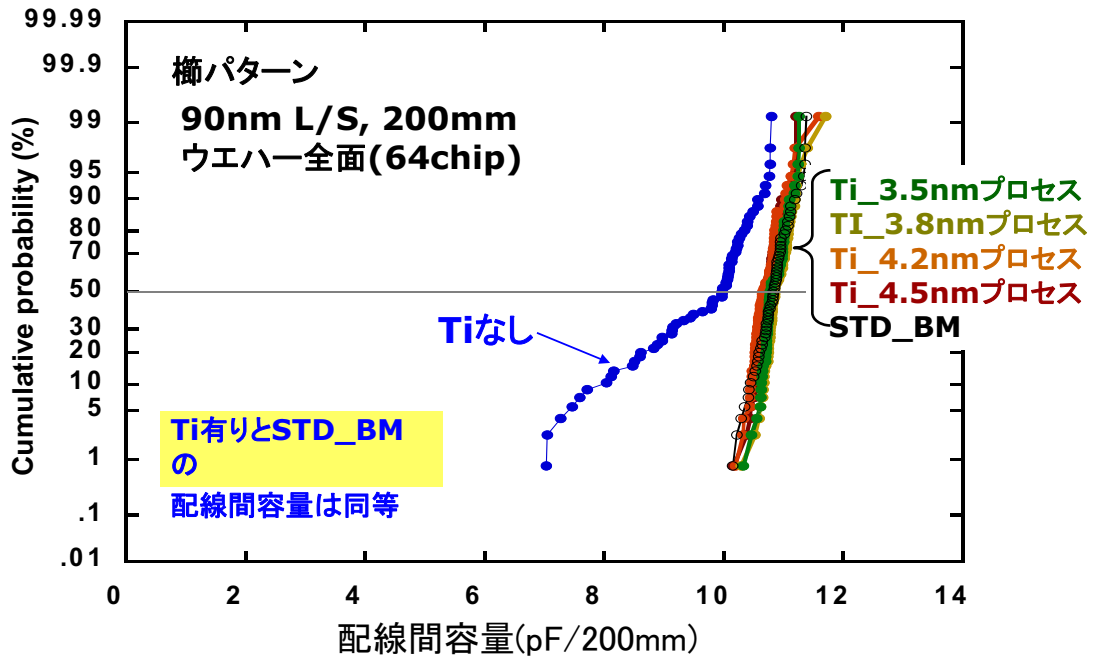


【関連特許:特願2006-018631、特願2007-176665】  
 【関連外部発表No.:2、3、4、5、6、7、9、10、11、12、14、15、24】

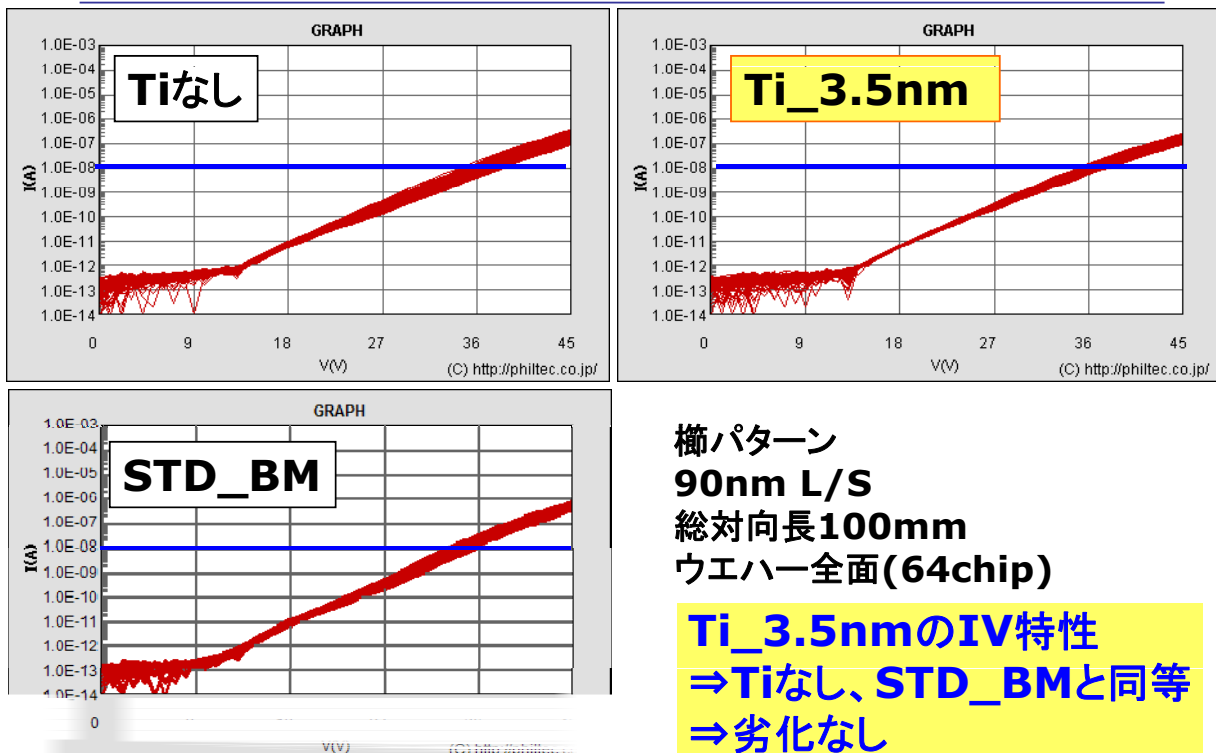
### 4. 有機Low-kを用いた多層配線プロセスの提案(配線抵抗)



4. 有機Low-kを用いた多層配線プロセスの提案(配線間容量)

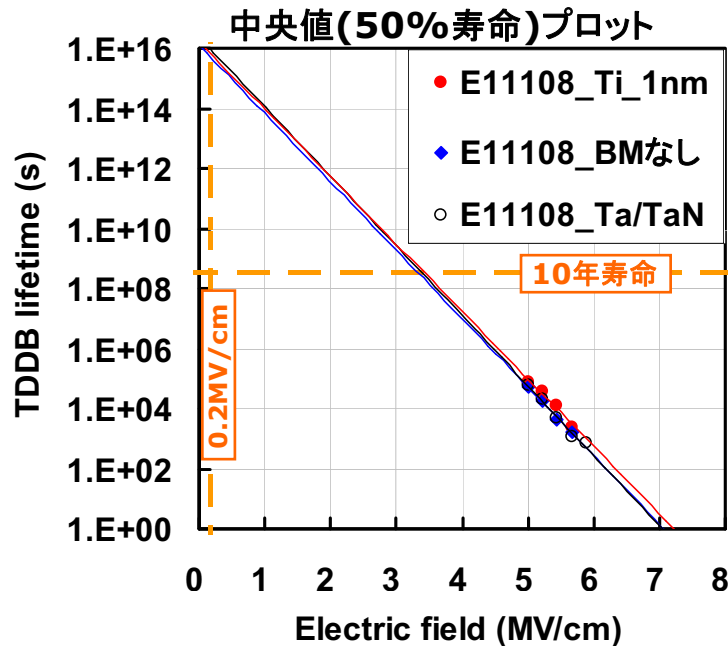


4. 有機Low-kを用いた多層配線プロセスの提案(リーク電流)



#### 4. 有機Low-kを用いた多層配線プロセスの提案(TDDB)

櫛パターン、90nm L/S、総対向長10mm



#### 5. まとめ

- ・ MSQ系Low-k提案材料に対して、低誘電率化と高弾性率化を両立する短時間キュアが可能なUVキュア条件を設定し、配線評価を可能とした
- ・ Low-k材料のダメージ耐性に関して、プラズマCVD膜堆積、加工用プラズマ照射、低圧化を含むCMPの影響をそれぞれ評価し、劣化要因を推定した
- ・ Low-k材料を用いた1層配線TEG、2層配線TEGのウェーハレベル信頼度評価により、提案材料の耐性を評価し、最も影響の大きい要因を判別した
- ・ 有機ポリマーLow-k材料を用いた多層配線技術の課題(密着性)を抽出し、薄膜Ti挿入の対策によるソリューションを提案した