

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **22**B1
March/2011

マシニング事業

■ 新商品・適用事例紹介

透明導電膜製膜装置

「Z-TOPS」

Transparent Conductive Oxide Coating Equipment
"Z-TOPS"

〈キーワード〉 透明導電膜 (TCO)・ITO (インジウムスズ酸化物)
GZO (ガリウムドープ酸化亜鉛)・
イオンプレーティング・スパッタ

開発本部／商品開発部

林 澈文 Cheol-mun YIM

高井 健志 Takeshi TAKAI

福田 和人 kazuto FUKUDA

要 旨

今回NACHIはヘンミ計算尺と協同で太陽電池、タッチパネル、液晶パネルなどに使用される透明導電膜の成膜装置「Z-TOPS」を開発した。NACHIが切削工具で長年培ってきたイオンプレーティング法によるコーティング技術を機能薄膜分野に活かしたもので、スパッタ法による従来成膜装置に比べ、大幅な生産性向上が期待できる。またさらにITO膜だけでなく低コストなGZO膜も成膜できる、低温で低抵抗な膜が得られる、表面平坦度が良い膜が得られるなど優れた特長がある。

有機EL照明や電子ペーパーなど新しい市場向けも含めて、「Z-TOPS」の展開をはかり、透明導電膜のコスト低減、品質向上に貢献していく。

Abstract

NACHI has jointly developed with HEMMI Slide Rule Co., Ltd. the coating equipment, Z-TOPS that coats solar cells, touch screens, LCD screens and others with transparent conductive oxide. This coating equipment is a product of NACHI's long years of efforts on the ion plating method in its cutting tool business, and it is for functional, thin-film coating. In comparison with the equipment that uses the conventional sputtering method, this equipment is expected to realize the substantial improvement in productivity. In addition, the equipment allows the coating of ITO as well as low-cost GZO. It has the excellent characteristics such as the formation of a low-resistant film under low temperature and good surface flatness in coating.

NACHI will develop Z-TOPS further for new markets including the markets of organic EL lighting and electronic paper and contribute to the cost reduction and quality improvement of transparent conductive oxide.

1. 透明導電膜の現状と問題点

透明導電膜(TCO:Transparent Conductive Oxide)とは、ガラスやプラスチック基板に薄くコーティングされた透明で導電性のある(電気が流れる)薄膜のことであり、太陽電池、タッチパネル、有機ELなどに必ず使用されている(図1)。可視光領域での光の透過率が高い、比抵抗が小さい、均一に成膜されていることが望まれる。比抵抗を小さくするには膜厚を厚くすればよいが、逆に光の透過率が悪くなり、膜厚を制御するうえで、低抵抗と高透過率は相反する特性である。現在透明導電膜の主流はITO膜(ITO:インジウムスズ酸化物)であるが、主原料であるインジウムがレアメタルであることから需給逼迫、価格高騰、安定調達が問題となっている。これを受けインジウムを使用しない高性能な透明導電膜の要求が高まってきており、ZnO(酸化亜鉛)系の膜であるGZO(ガリウムドープ酸化亜鉛)などが一部使用されている。しかし、従来のスパッタ法では低抵抗な透明導電膜を得るため、成膜プロセス中、加熱(アニール処理)する必要があり、プラスチック基板のような熱に弱い基板には成膜し難いという問題点がある。また、スパッタ法は高運動エネルギー飛粒子が多く含まれるため、基板表面に損傷を与えやすいといった問題点もある。

今回協同開発した「Z-TOPS」を図2に示す。従来のスパッタ法に対し、NACHIが切削工具で長年培ってきたイオンプレーティング法を使用し、これらの問題点に対応したものであり、いろいろ優れた特長を備えている。スパッタ法およびイオンプレーティング法の成膜原理については、図3に示す。

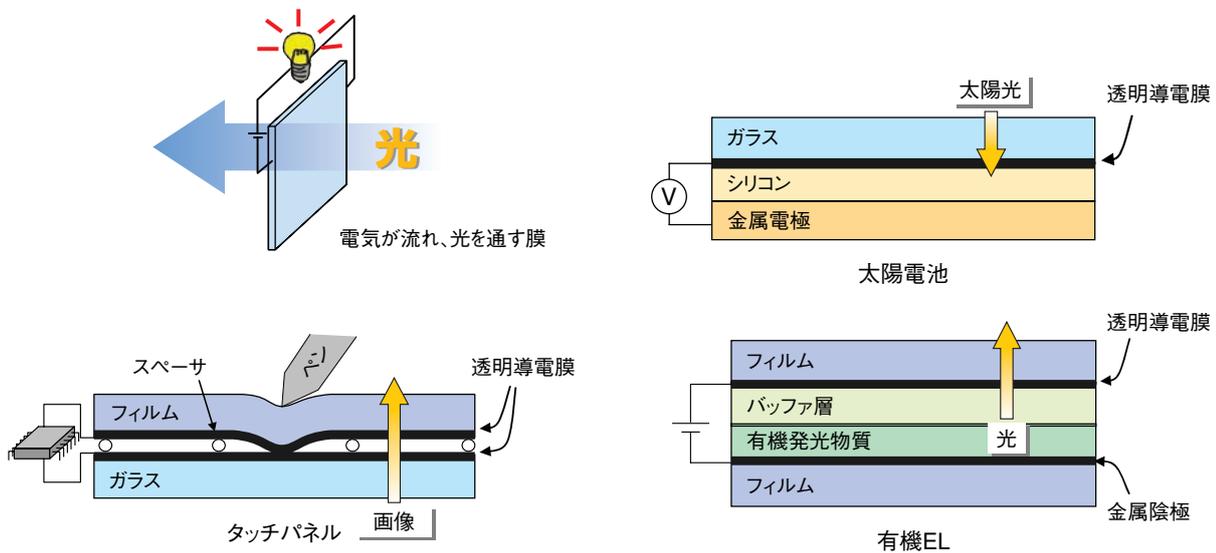


図1 透明導電膜の模式図と適用例



図2 透明導電膜製膜装置「Z-TOPS」の外観

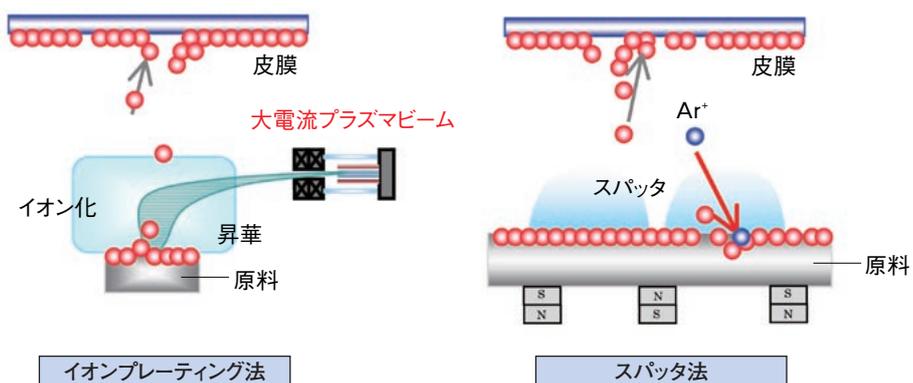


図3 成膜方法の比較

2. Z-TOPSの特長

1) 低抵抗なGZO膜が成膜可能

「Z-TOPS」は、イオンプレーティング法を採用し、透明導電膜の成膜を行なっている。プラズマ発生機には工具のコーティングで実績のある大電流の圧力勾配型プラズマガン(通称:HCDガン)を用いている。「Z-TOPS」の概略構成について図4に示す。イオンプレーティング法では高密度のプラズマビームで原料を一気に昇華し、イオン化させる。そのため、粒子のエネルギーが小さく(0~数eV)、成膜スピードが早く(100nm/min以上)、結晶性のよいGZO薄膜

が形成され、スパッタ法よりも低抵抗な膜が得られる。一方、スパッタ法では高電圧によってArイオン(+)を原料(ITO、GZOなど)に叩きつけることで成膜を行なうので、高エネルギー粒子(0~数百eV)が生じやすく、基板損傷の原因となりやすい。

つまり「Z-TOPS」は、従来のスパッタ法では困難であった低抵抗なGZO膜が得られ、供給に問題のあるITOの代替として、今後の需要拡大の中心となる安価なGZO膜の成膜を可能にした。(表1による)

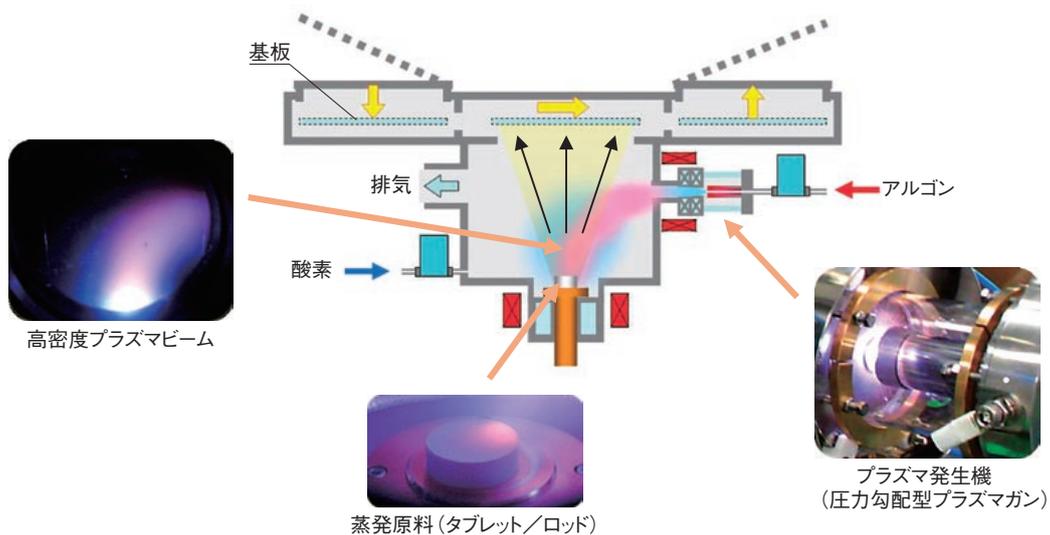


図4 Z-TOPSの概略構成図(イオンプレーティング)

表1 GZO膜の比抵抗値(成膜法による比較)

単位: $\times 10^{-4} \Omega \text{cm}$

	Z-TOPS (イオンプレーティング法)	DCスパッタ法	RFスパッタ法
GZO膜比抵抗	3.0	9.8	5.0

2) 低温で低抵抗な透明導電膜を高速で成膜可能

従来のスパッタ法によるITO膜の成膜では、低抵抗な膜を得るためには、特殊熱処理による結晶化(アニール)処理を行なう必要がある。イオンプレーティング法では基板への成膜時点で既に結晶化しており、アニール処理が不要である。これにより、装置の簡略化、工程の省略ができるようになった。さらに、従来のスパッタ法ではプラスチック基板への成膜は、低電圧によるスパッタリングや非晶質ITOを成膜したあとアニール処理する。しかし、Z-TOPSでは、アニール処理がなくても様々な基板上に低抵抗なITO膜を得ることができ、これはGZO膜についても同様にいえる。(表2)(図5)

表2 「Z-TOPS」によるプラスチック(PET)基板上への成膜事例(膜厚200nm) 単位: $\times 10^{-4} \Omega \text{cm}$

膜種・基板	ITO膜		GZO膜	
	ガラス	PET	ガラス	PET
比抵抗	3.45	3.59	4.76	4.70

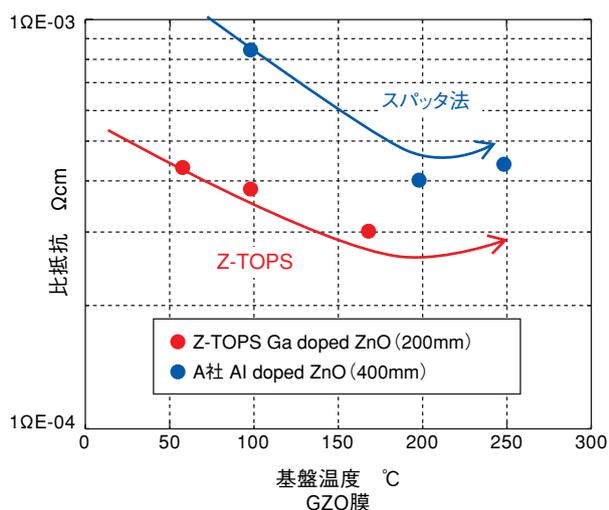
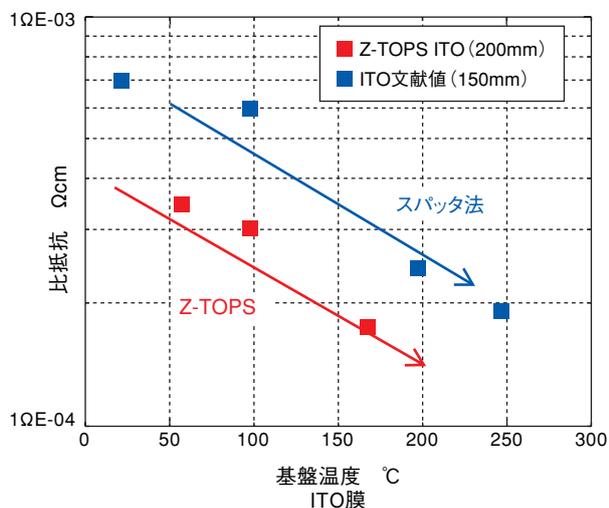


図5 成膜温度と比抵抗

3) 表面粗さが 非常によい膜が得られる

従来のスパッタ法ではターゲット表面に発生する突起群(通称:ノジュール)がスパッタリングされ、基板表面上に付着することで数十程度の突起が生じやすく、表面粗さが良くない。特に有機ELの場合、発光層の厚さが100nm程度であることからこの突起は短絡の原因となり、発光の不均一化(ダークスポットなど)につながる。このため有機EL用の透明導電膜では粗さを向上させるために成膜後に機械加工を施すなど特別な工程が必要である。Z-TOPSは成膜方法がイオンプレーティング法であり、原料を昇華しイオン化させるため、ノジュールのない平滑なITO、GZO膜を容易に成膜することができる。AFM(原子間力顕微鏡 Atomic Force Microscope)による表面観察結果を図6に示す。「Z-TOPS」で成膜されたGZO、ITOとも平均表面粗さRaは1nm以下であり、非常に平坦であり、機械加工することなく使用に供することができる。これによりとくに有機EL用のような高品位な透明導電膜が要求される用途に安価な膜を安定的に供給することができる。

4) 均一な成膜分布

基板を移動させながら成膜する構造をとっているため、基板上の膜厚、抵抗の分布はばらつきが少なく非常に均一であり、かつ基板の下面に側に成膜するため異物(パーティクルなど)が基板に付着しにくいという利点もある。

5) 高い透過率

ITO膜においては「Z-TOPS」とスパッタ法で可視光線透過率に大きな差がなくほぼ同等である。GZO膜については、以前よりITO膜より透過率が高いと言われていたが、「Z-TOPS」で成膜した結果も同様であり、86%以上の透過率となり、市販ITO膜より透過率の高いGZO膜が得られた。(図7)透過率が高ければ太陽電池の発電効率を向上させるなどの効果が期待され、GZO膜の長所のひとつである。

さらに、「Z-TOPS」を用いたPET基板上に成膜したGZO膜については、電気特性に関わらず、全光線透過率は80%以上であり、ヘイズは1%以下である(表3)。ヘイズは、光が透明な材料を通過するとき、



図6 AFMによる表面粗さ測定

不明瞭なくもり状の外観を示すものであり、高いほどくもり度が増すことになる。そのため、低い方が好ましい。

ヘイズ(%)=Td/Tt x 100. Td:拡散透過率 Tt:全光線透過率 ... L値は明度(かがやき)、a値は十で赤味、-で緑味、b値は十で黄色味、-で青味の傾向。

6) 「Z-TOPS」の成膜実施例 (膜厚とシート抵抗)

図8に「Z-TOPS」で成膜したITO膜とGZO膜の膜厚とシート抵抗の関係を示す。シート抵抗(Ω/sq)とは比抵抗($\Omega \cdot \text{cm}$)を膜厚で割った値である。つまり比抵抗が大きくても膜厚が厚ければシート抵抗は小さくなる(但し透過率は低下するが)。透明

導電膜を使用するユーザーにとって膜厚はどれだけでもよく、実質的な膜の抵抗値であるシート抵抗が一般的に要求される。

通常、太陽電池用は $10\Omega/\text{sq}$ 以下、有機EL用は $10\sim 20\Omega/\text{sq}$ 、タッチパネル用は $100\sim 1000\Omega/\text{sq}$ 程度のシート抵抗が要求されるが、「Z-TOPS」では再現性のよい、低～高抵抗の幅広いシート抵抗の透明導電膜を得ることができており、いずれの用途にも対応が可能である。

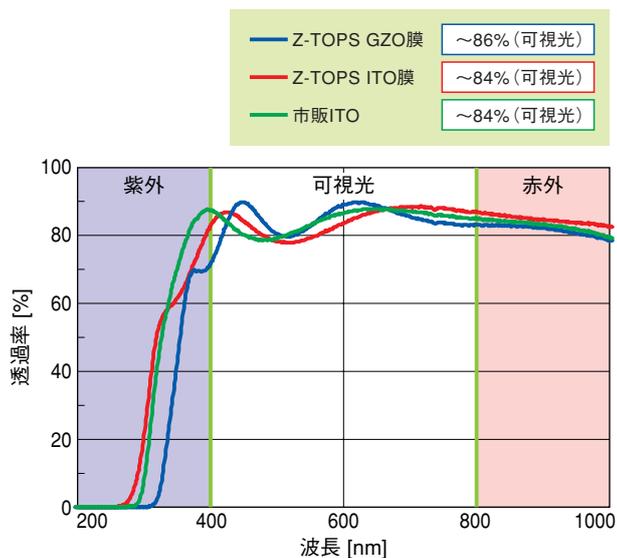


図7 透過率測定例

表3 PET基板上的GZO膜光学特性

	GZO A	GZO B	GZO C	基板のみ	
シート抵抗(Ω/sq)	19.4	56.7	85.6	—	
全光線透過率(%)	83	85	84	91	
ヘイズ(%)	0.7	0.8	0.7	0.8	
色調	L*	92	93	92	—
	a*	-0.3	-0.5	-0.1	—
	b*	-1.24	-0.4	-0.2	—

※反射防止膜は施していない

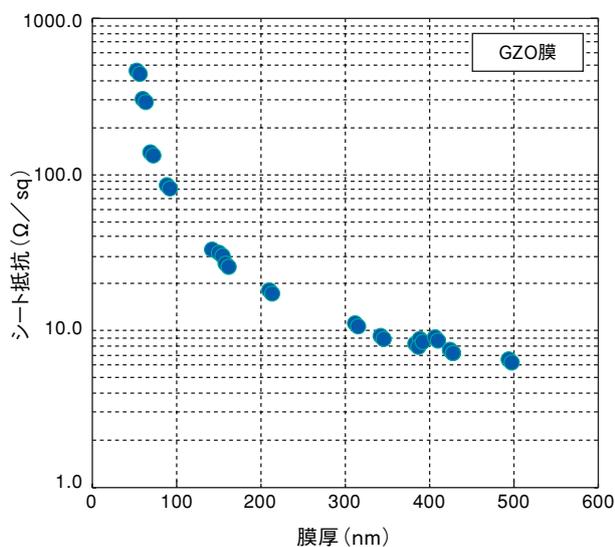
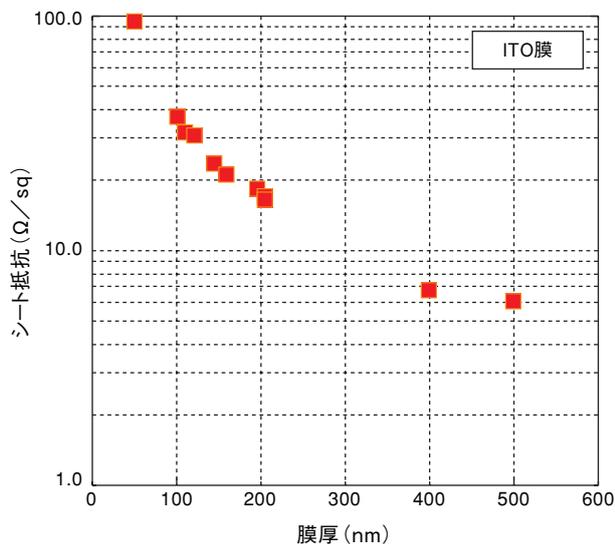


図8 「Z-TOPS」の膜厚とシート抵抗の例

3. 「Z-TOPS」の今後の取り組み

今回、販売を開始した「Z-TOPS」の装置仕様を表4に示す。Z-TOPSシリーズは、基板サイズが200×200と300×400の2種類であり、大面積基板への対応が必要である。既に大面積対応については目処が立っており、従来装置よりもコストパフォー

マンスに優れた装置を提供していく予定である。

安価なGZO膜への切換に加え、成膜工程の高速化、工程省略、歩留向上を可能にすることで、透明導電膜の大幅なコストダウンを実現する。

表4 「Z-TOPS」の標準仕様

項目	Z-TOPS200	Z-TOPS400
基板サイズ	Max 200×200mm	Max 300×400mm
蒸発原料	φ30タブレット/ロッド	
ウェハ収納	枚葉/カセット	
到達圧力	10 ⁻⁴ Pa台	
装置寸法	1730 (W) × 1180 (D) × 1630 (H) mm	3320 (W) × 1730 (D) × 2350 (H) mm
装置重量	1,200kg	3,800kg
所要電力	3φ200V/220V 60kVA, 1φ100V 7kVA	
所要水量	0.4MPa, 70ℓ/min, <298K	
使用ガス	高純度 アルゴン、酸素、窒素 [Pure Ar, O ₂ , N ₂]	