

DLC から進化した高機能膜

ICF カタログ

PVD Coating
DLC Coating
Intrinsic Carbon Film

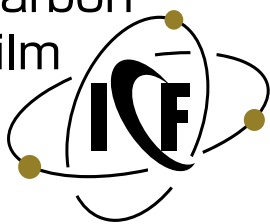


Intrinsic
Carbon
Film



ナノテック株式会社

Intrinsic
Carbon
Film



DLCから進化した高機能膜

ICF Series

(Intrinsic Carbon Film)

ナノテック株式会社

DLC 薄膜の応用用途が拡大するに伴い、単に硬質で摩擦係数が低い「ダイヤモンドライクカーボン」という呼称では、その機能を含め捉えきれなくなってきました。DLC 薄膜の特性を物性により分類した用途別の活用が必要とされています。

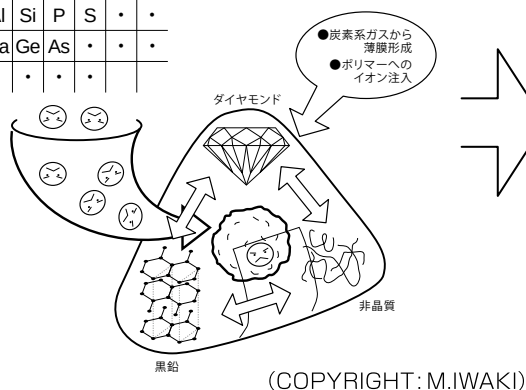
この分類を明確にするため、新たに DLC を大きな枠組みで捉えなおす概念として ICF (Intrinsic Carbon Film：真性カーボン膜) があります。

高機能性の付加

ICF は、DLC を含む高機能性を持つカーボン膜の総称です。弊社は、独自の DLC コーティングテクノロジーを発展させ DLC に各種ドーピングや構造制御等を行うことで、様々な高機能性の付与に成功しました。

下図に ICF の概念図を示します。弊社の技術データと成膜制御技術により最適な ICF を設計し、各種応用用途に合わせたコーティングを行うことが可能になりました。

H	周期律表							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
•	Mg	Al	Si	P	S	•	•	
•	•	Ga	Ge	As	•	•	•	



(COPYRIGHT: M.IWAKI)

超鏡面性

超鏡面 ICF

導電性

導電性 ICF

耐熱性

耐熱性 ICF

撥水性

撥水性 ICF

Al 合金用高密着性

アルミニウム合金用 ICF

光学特性

光学用 ICF

絶縁性

絶縁性 ICF

環境調和性

環境調和型 ICF

生体適合性

生体適合性 ICF

高耐久性

高耐久性 ICF

水素フリー

水素フリー ICF

顧客希望対応

カスタマイズ ICF

私たちはICFシリーズにより、お客様のニーズに合わせた
コーティングサービスをご提供いたします。

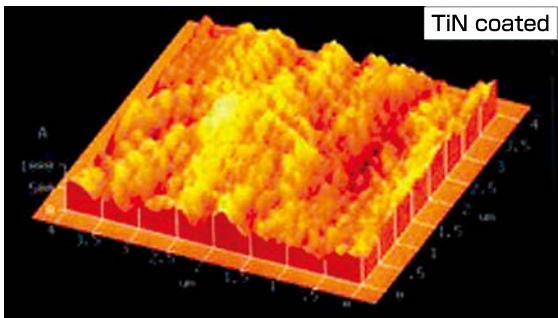
超鏡面 ICF



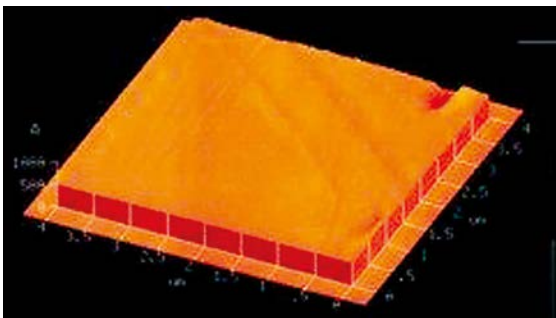
真空中において弊社特許の特殊なイオン源により最適条件設計を行うことで、表面粗さを制御し、世界最高レベルの超鏡面 ICF コーティングを実現しました。

従来の TiN 薄膜と超鏡面 ICF の比較

イオン化蒸着法はパラメータの制御性に優れた手法であり、プラズマ条件と基板電圧等を制御することで、他の手法による DLC や硬質薄膜と比較して、格段に鏡面性を高めることができます。



(a) TiN AFM 像



(b) ICF AFM 像

従来の TiN 薄膜と超鏡面 ICF の比較 AFM 像を上図に示します。
従来の硬質薄膜に比べ非常に表面が滑らかであることがわかります。

超鏡面 ICF の表面粗さ

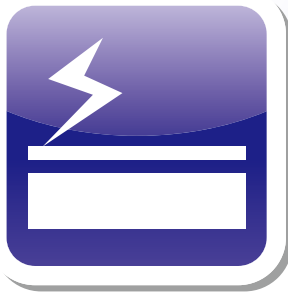
また、アークイオンプレーティング、UBMS (Unbalanced Magnetron Sputtering) による DLC 膜とイオン化蒸着法による超鏡面 ICF の表面粗さを右表に示します。他の手法と比較しても鏡面であることがわかります。表面粗さ計の測定限界値であり、実際に AFM 像が示すような超鏡面性が可能です。超鏡面 ICF の用途としては、非球面レンズ金型や超微細加工用ツール、精密金型等があります。これらの部材では、非常に高い表面粗さの精度を要求され、膜剥けやドロップレットによる成型品への影響を極力抑えなければなりません。超鏡面 ICF は、これらのニーズに対応して開発されたものです。

成膜方法	表面粗さ Ra (μm)
コーティング無し基材	0.044
弊社イオン化蒸着法	0.022
アークイオンプレーティング	0.059
UBMS A	0.042
UBMS B	0.039

素材の粗さは、0.044 μm

仕様		用途	
表面粗さ	0.03 μm 以下	非球面レンズ金型	
硬度	HV1,500 ~ 2,500	超微細加工用ツール	
摩擦係数	0.1 ~ 0.25 (ボールオンディスク法)	精密金型	
膜厚	0.1 ~ 0.3 μm	マイクロ部品	

※上記の値は、コーティング品の形状・材質・面粗度等で若干の変動があります。



導電性 ICF

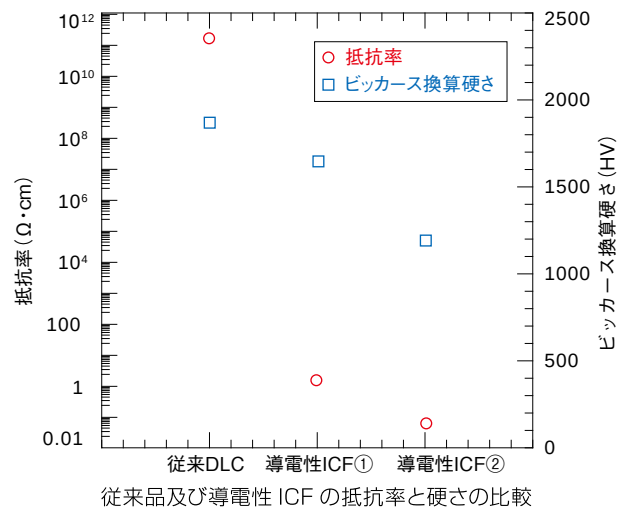
新たなドーピング技術の開発により、従来絶縁性のDLCコーティングに導電性を付与することに成功しました。

従来品及び導電性 ICF の抵抗率と硬さの比較

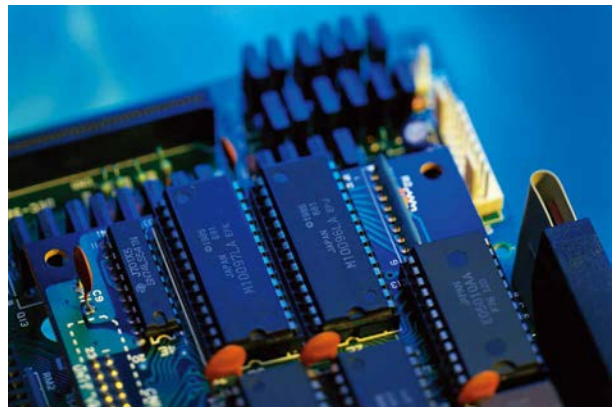
弊社独自のドーピング技術により、従来抵抗率が $10^7 \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ の絶縁性の薄膜であった DLC 薄膜に導電性を付与することが可能となりました。原料ガスとドーピング用ガス Nano-X をイオン化し、適正に成膜条件を制御することで、活性化されたドーピング元素 X がカーボンと結合し導電性 ICF を生成できます。これにより、従来では不可能であった高硬度・耐食性・耐摩耗性と導電性の両立に成功しました。抵抗率は、四探針法による測定で $10^{-2} \sim 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ （中間層有りの場合は $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ）の範囲で制御できます。

また、硬さはナノインデンテーション法で HV1,000 ～ 2,000、摩擦係数 0.1 ～ 0.25 であり、従来の DLC 薄膜とほぼ同等の性能を示しています。

右上図に従来 DLC 薄膜及び導電性 ICF の抵抗率と硬さの比較を示します。導電性 ICF は、帯電防止用各種部品や耐摩耗性または耐食性が必要な各種電極へ応用できます。従来のコーティングの代替としてコスト削減等につながることも注目されています。



従来品及び導電性 ICF の抵抗率と硬さの比較



仕様		用途
抵抗率	$10^{-4} \sim 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ (4 探針法)	各種電極部品への保護膜
硬度	HV1,000 ～ 2,000	電子放出材料
摩擦係数	0.1 ～ 0.25	帯電防止用保護膜
適用材質	Siウエハ、超硬合金・SKH・SKD・SUJ2・SUS、ガラス等（基材により中間層の成膜が必要になります）	
膜厚	0.1 ～ 0.3 μm	

※上記の値は、石英ガラス上における実験値データです。
コーティング品の形状・材質・中間層の有無等で若干の変動があります。

耐熱性 ICF



従来 DLC の課題であった高温環境での使用を可能とするため、耐熱性 ICF を開発しました。

高温摩擦摩耗試験結果

従来、DLC 膜は 350℃ 近辺より、グラファイト化し、さらに空気中の酸素の影響で劣化して密着力不良や硬度の低下を起こします。耐熱性 ICF は、高温 500℃ の環境でも摩擦係数を 0.1 を保ち、超合金より高い硬度を維持できます。これにより、高温下で使用する金型や摺動部品の寿命も向上します。

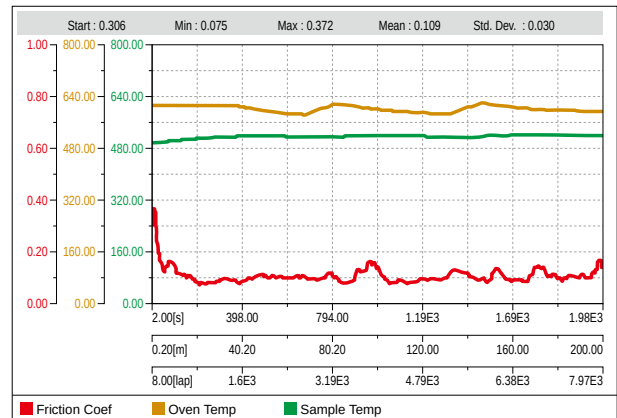
500℃ の高温でのボールオンディスク摩擦摩耗試験結果を右図に示します。

測定条件は、CSM 社製高温摩擦摩耗試験機で 6mm ボールを使用しました。

試料は、WC-Co 上へ耐熱性 ICF を成膜し、荷重 5N、周速度 100mm/sec、距離 200m で測定を行いました。

結果として安定した摩擦特性を示し、摩擦係数は 0.1 でした。応用用途として、ヒートプレート・加熱圧着部品があります。

ヒートプレート（材質：SKD11）では、使用条



500℃ボールオンディスク摩擦摩耗試験条件
(CSM 社 TRIBOMETER 使用)

WC-Co+ICF 耐熱 5μm ボール材質：ガラス φ 6.25mm
荷重：5N 周速度：100mm/sec 移動距離：200m

件 450℃ 大気中で加熱した時、従来の DLC 薄膜の寿命が 3 週間であったのに対して、耐熱性 ICF は 3 ヶ月となり寿命が 4 倍向上しました。

実施例

使用条件： 450℃大気中で加熱
結果：ノーマル DLC 3 週間
耐熱性 ICF 3 ヶ月
4 倍寿命向上



ヒートプレート（材質：SKD11）

仕様

膜厚	標準 1 μm
硬度	HV1,300 ~ 1,500
摩擦係数	0.1
耐熱温度	約 500℃（大気中）

用途

ヒートプレート・加熱圧着部品 等
温間鍛造金型

※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。



撥水性 ICF

フッ素 (F) ドーピングとコーティング条件の工夫により、DLC 膜に水を弾くテフロンのような撥水性を持たせました。この被膜は埼玉県産業技術センターと弊社との共同開発品です。

撥水テスト結果

ICF にフッ素をドーピングすることにより、膜に水を弾く撥水性を付与することが可能となりました。

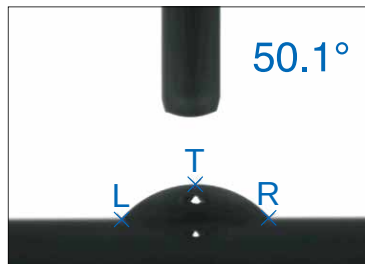
右図に接触角の比較写真、下表にフッ素含有量による硬さの変化を示します。

超硬合金と同等な硬度(HV1,000)で、摩擦係数が低い (0.04 ~ 0.17) 撥水性 ICF の処理が可能になりました。

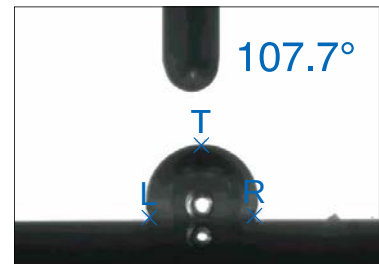
これにより、金型汚れを防ぎ、生産性の向上に寄与します。

各種フッ素含有炭化水素ガスを用いて成膜を行うことでフッ素含有量を制御できるため、それぞれの状態に適した撥水性の付与が可能です。

また、膜が深い黒色であるため、画像認識用ステージやガイドに反射防止膜としても利用されています。



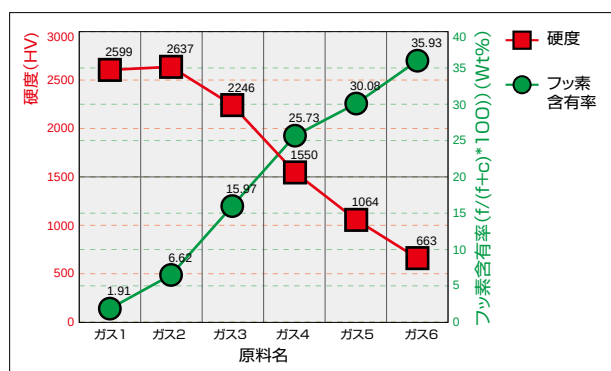
超硬合金



超硬合金 +ICF 撥水コート 1 μ m
(チャンピオンデータ)

従来は、プラスチック製品との癒着性が高く問題がありました。それらを解決することが可能となり、応用用途が広がっています。

また、テフロンコーティング等と比べ硬く耐摩耗性にも優れているため、従来のテフロンコーティングからの置き換えも進むと考えられます。応用用途としては、プラスチック用金型への付着防止、部品への光反射防止（黒色）があります。



撥水性 ICF のフッ素含有率と硬度

実施例

コート品外観



(左から:超硬 /DLC /ICF撥水)

仕様

フッ素含有率	30 at% (ガス 3)
撥 水 角	90°
硬 度	HV800 ~ 1,200
摩 擦 係 数	0.04 ~ 0.17
膜 厚	1 μ m
使 用 温 度	常温 (100℃未満)

用途

金型への粉・汚れ付着防止（撥水性）
部品への光反射防止（黒色）

※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。

アルミニウム合金用 ICF



最適中間層設計により、各種アルミニウム合金に適合した ICF コーティングを可能にしました。A1050、A2017、A2024、A4032、A5052、A5083、A6061、A6N01、A7075 に関して、最適中間層の設計を行うことが可能です。

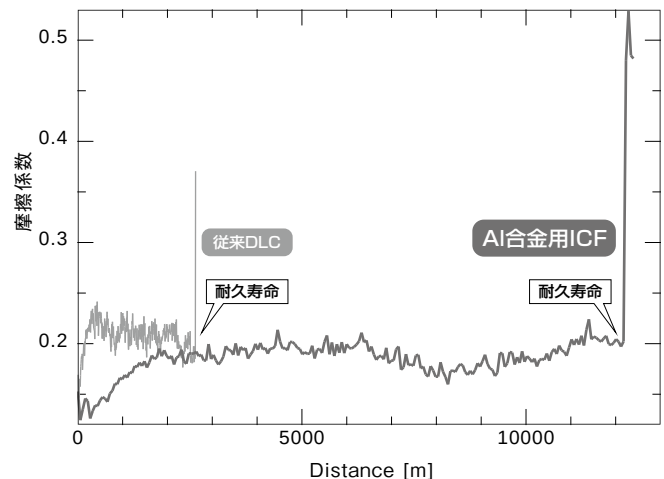
従来 DLC とアルミニウム合金用 ICF の摩擦摩耗試験結果比較

従来の DLC コーティングは、アルミニウム合金に対して密着性良くつけることが困難でした。

アルミニウム合金は酸化しやすく、また多様な元素を含有するため、DLC 薄膜と基材との界面に最適な中間層を選定することが重要です。

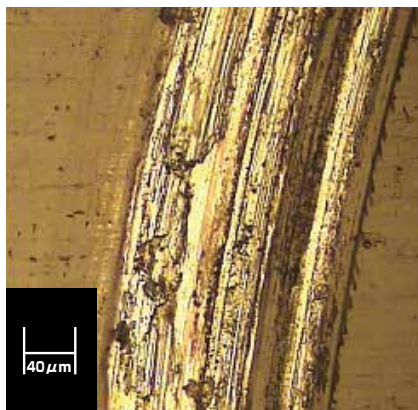
右図に示すように、各種のアルミニウム合金に最適中間層設計を行ったアルミニウム合金用 ICF は、高い耐久性を維持することができます。他の各種アルミニウム合金に関しても最適設計を行うことができます。

一例として、下図に A6061 合金へ成膜した従来 DLC とアルミニウム合金用 ICF の摩擦摩耗試験結果の比較を示します。

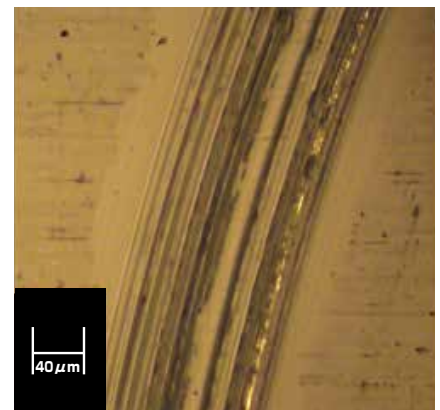


(a) 摺動距離と摩擦係数

A6061 合金へ成膜した
従来 DLC と Al 合金用 ICF の
摩擦摩耗試験結果比較



(b) 従来 DLC (226m 摺動後)

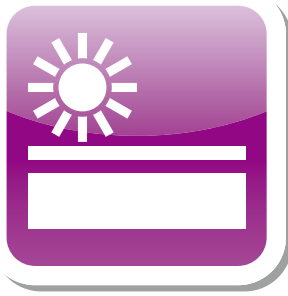


(c) Al 合金用 ICF (12400m 摺動後)

仕様		
硬 度	HV1,800 ~ 2,500	
摩 擦 係 数	0.1	
適 用 材 質	A1050、A2017、A2024、A4032、A5052、 A5083、A6061、A6N01、A7075	
膜 厚	1 μm	

用途
航空機用材、船舶、自動車部品
アルミニウム製金型
各種摺動部品 等

※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。



光学用 ICF

構造制御により、可視光・赤外域の波長の透過を向上させることを可能にしました。

UV域の吸収性の制御も可能です。赤外域では、従来品よりも高い透過性を実現しました。FT-IRの測定結果を図1に示します。

FT-IRの測定結果

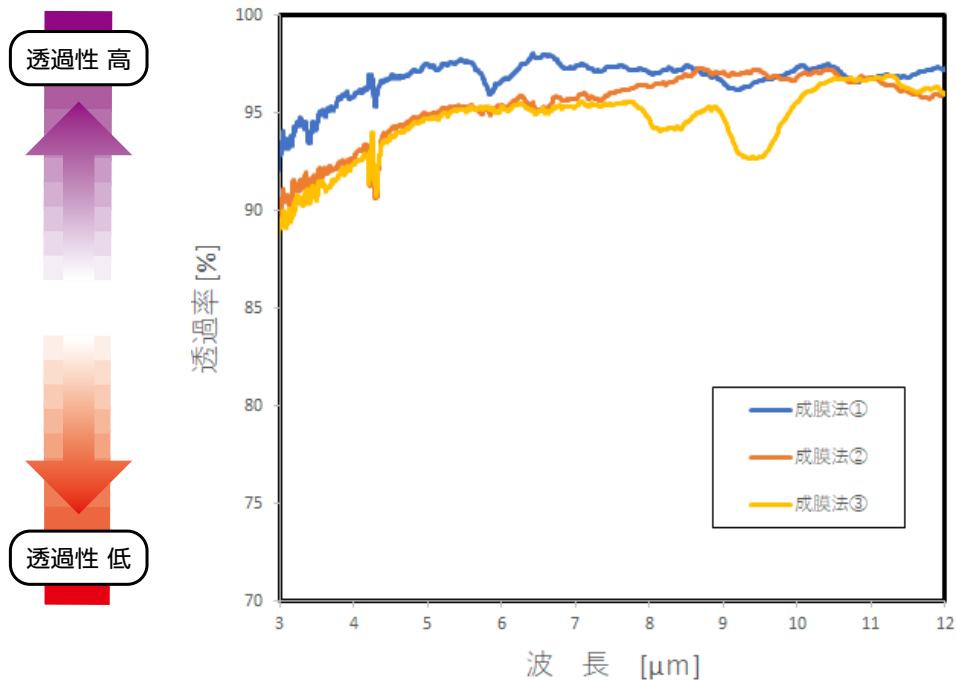
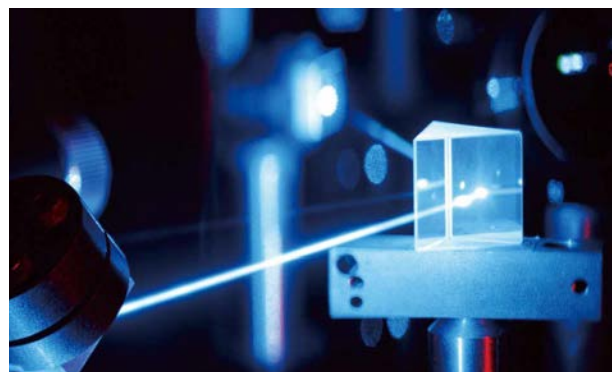


図1

Siウエハ上の膜を全反射法:ATR (Attenuated Total Reflectance)で測定しました。

補正方法:ATRもぐりこみ深さ補正と自動ベースライン補正。

試料サイズ・材質によって違いがあります。



仕様

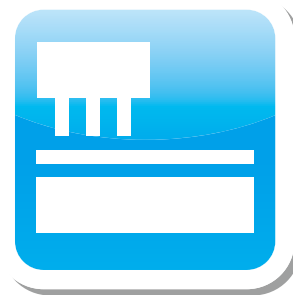
硬 度	HV800~2,000
摩 擦 係 数	0.1 ~ 0.25
膜 厚	標準0.05~0.3 μm

用途

各種ガラス基板上保護膜
光学用各種基板

※中間層を成膜する場合は、吸収波長域は変化します。

絶縁性 ICF



ドーピング技術と負パルスバイアスイオン化蒸着（PBIP：Pulse Biased Ion Plating）法により、絶縁性を向上させた ICF を開発しました。

負パルスバイアスイオン化蒸着法による硬さ・絶縁性の制御

PBIP 法は各種材料等への成膜を可能にし、膜の構造を制御することで硬さを 7～22GPa と大きな範囲で制御できるために、用途や基材に対応して選択することができます。

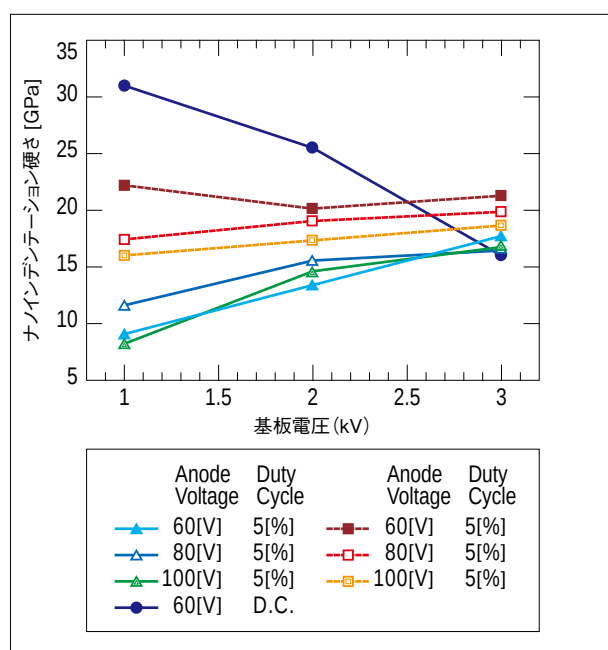
これにより高い密着性と絶縁性を両立できます。成膜条件と硬さの結果を左下図に示します。

右下図にコロナサーフ（フランス HEF 社製）を

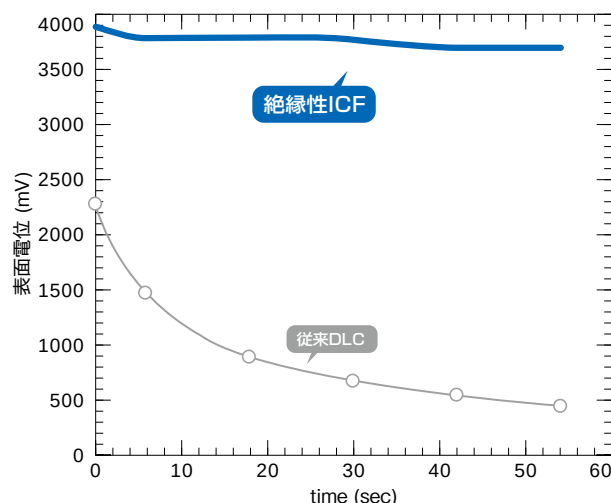
使用しコロナ放電により帯電させた試料の電荷保持時間を示します。

保持時間が長く表面電位が高いほど絶縁性が高いと判断でき、グラフでは絶縁性 ICF が従来の DLC と比較して高い帯電性（電荷保持力）があることがわかります。

また、その保持時間も長く維持されています。



パルスバイアス条件による硬さ制御



帯電性評価（電荷保持力）

仕様	
抵抗率	$10^{10} \sim 10^{14} \Omega / \square$
硬度	HV800 ～ 1,800
摩擦係数	0.1 ～ 0.25
膜厚	2 ～ 3 μm

用途
電極保護膜
耐摩耗性の絶縁性保護膜
帯電用電極

※上記の値は、Si ウエハ上における実験値データです。

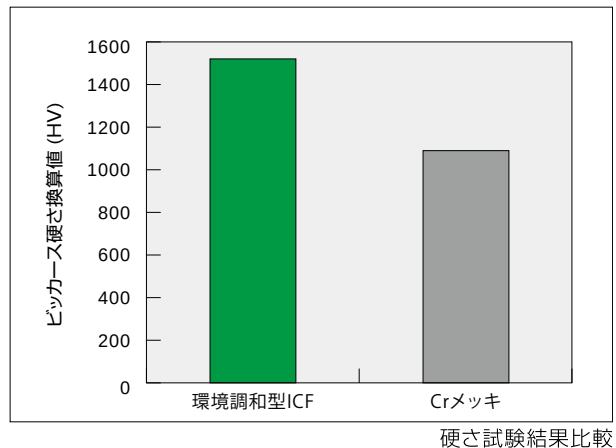
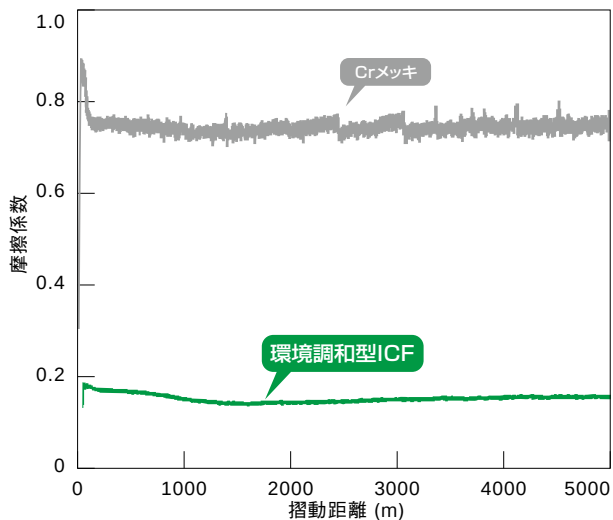
コーティング品の形状・材質・中間層の有無等で若干の変動があります。



環境調和型 ICF

Cr メッキの代替や各種金属溶出防止膜として、大面積への成膜が可能な環境調和型 ICF を開発しました。メッキからの代替を可能にするため、3m までの大きさの処理に対応しています。

摩耗試験及び硬さ試験



実施例

印刷用ロールへの
環境調和型 ICF の実施



RoHS（ローズ）規制対策

2006年7月1日から施行され欧州連合EU地域内で取り扱われる電気・電子機器製品について特定の6物質の使用を禁止する指令として、RoHS（ローズ）規制（特定物質使用禁止指令）があります。これに対応するため、Crメッキ代替の各種コーティングが注目されるようになってきています。これは、従来Crメッキが使用されていた各種部品へその代替として利用できるため非常に有用です。

上図に摩擦摩耗試験と硬さの比較を示します。環境調和型ICFの摩擦係数はCrメッキに比べ格段に低い値を示し、硬度も高いため耐摩耗性に優れています。

仕様

硬 度	HV600 ~ 1,500
摩 擦 係 数	0.1 ~ 0.25
膜 厚	1 μm

用途

Cr メッキ代替コーティング
食品加工機器
環境汚染物質溶出防止用

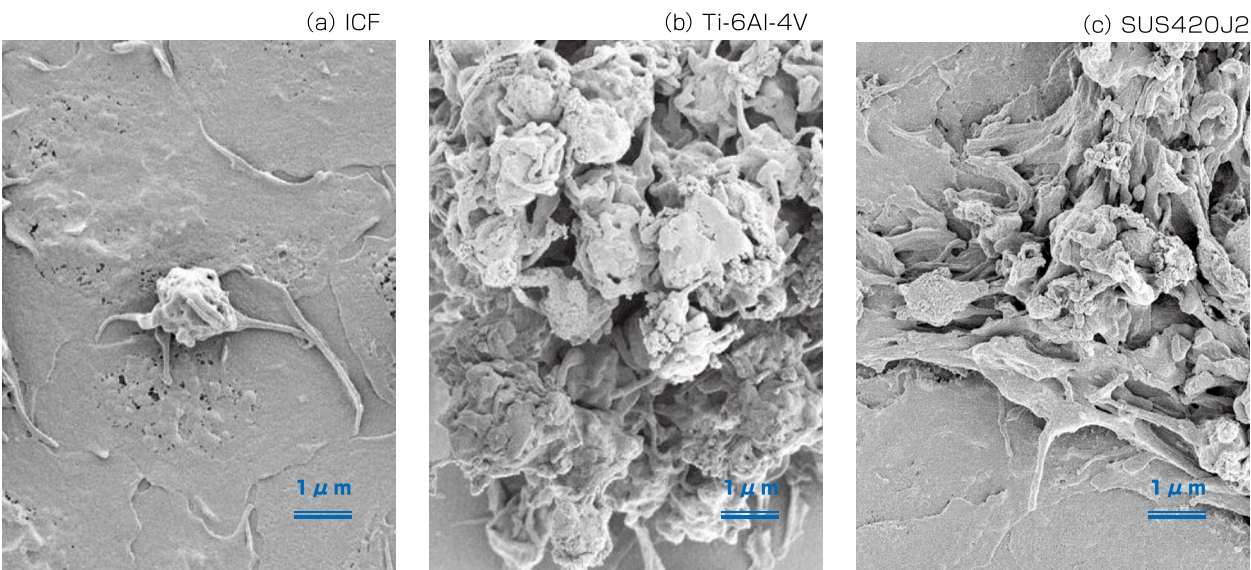
※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。

生体適合性 ICF



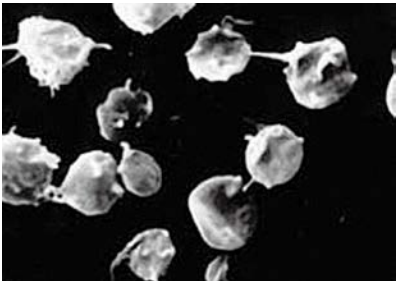
イオン化蒸着法により適切な膜質制御を行うことができ、幅広い硬さと内部応力の制御、及び生体適合性の制御を行うことが可能となりました。これにより各種材料等への成膜を可能にし、生体適合性の高いコーティングとして利用が可能です。

血小板付着試験結果



血小板付着試験結果

(写真提供：静岡県工業技術研究所 富士工業技術支援センター 殿)



静止時の血小板

上図に各種材料と生体適合性 ICF 上へ血小板濃厚液（35 万個 / mL）を、37℃、5%CO₂ 条件で 1 時間培養した血小板付着試験結果を示します。

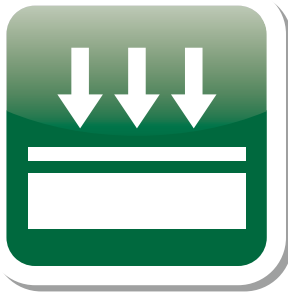
また、比較のため静止時の血小板の写真を左に示します。今後低侵襲性が期待されるため、手術用器具等への応用が考えられています。

他の応用用途として Ni 製の歯科矯正用ワイヤーも検討され、Ni の溶出防止に効果があることも報告されています。

今後さらなる用途展開としては、低摩擦・耐摩耗性・金属溶出防止・溶液透過防止・酸素透過防止等の特性と生体適合性が両立した表面処理として幅広く利用されていくことが期待されています。

仕様		用途
硬 度	HV1,800 ～ 2,500	低侵襲性各種医療材料
摩 擦 係 数	0.1	低侵襲性手術用器具・歯科用器具
膜 厚	1 μm	

※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。



高耐久性 ICF

従来、DLC膜は硬いが故に割れやすい、剥離しやすいと言われてきました。

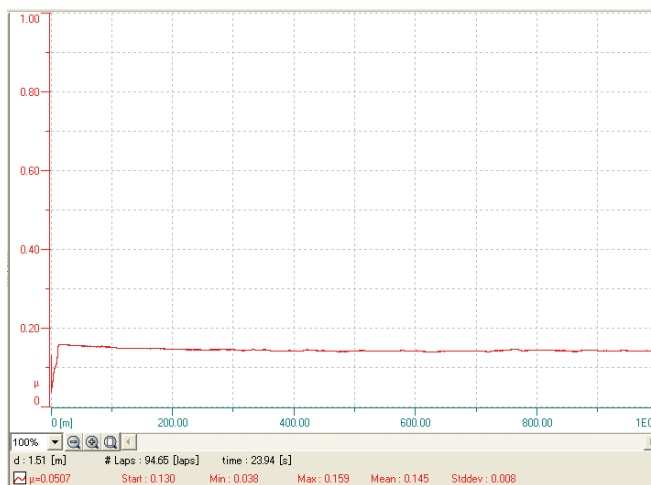
コーティング条件や膜の傾斜層の工夫により、初期摩擦係数が低く ($\mu=0.15$)、高い荷重が加わっても、剥離しにくく、耐久性と耐摩耗性に優れた高耐久性ICFを開発しました。

メンテナンスフリーを目指して使用する金型や摺動部品の信頼性や寿命向上に貢献します。

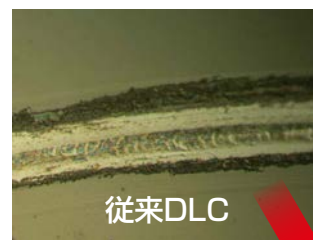
機械的特性評価

初期摩擦係数 $\mu=0.130$

平均摩擦係数 $\mu=0.145$



高耐久性ICF摩擦係数データ



従来DLC

従来DLC
よりもさらに
高耐久!!



高耐久性ICF

ディスク摩耗痕

ボールオンディスク摩擦摩耗試験条件(CSM社 TRIBOMETER使用)

WC-Co+ICF高耐摩耗: $2\mu\text{m}$

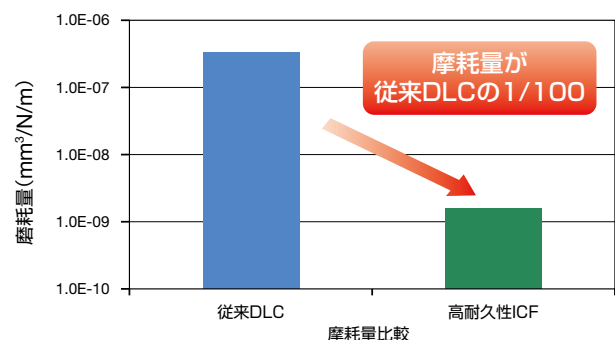
ボール材質: 超硬合金 $\phi 6\text{mm}$

荷重: 20N

周速度: 100mm/sec

移動距離: 1,000m

高耐久性ICFの摩耗量は、従来DLCと比べ1/100になり、DLCよりも高い高耐久性を実現しました。



従来DLC 高耐久性ICF 摩耗量比較

仕様

膜厚	2~3 μm
摩擦係数	0.13~0.16
硬度	HV1,000~1,200
コートサイズ	$\phi 200 \times 150\text{mm}$

用途

圧粉成形金型(面圧の高い成型金型)・高面圧ギア(初期摩擦係数が低い)

応用例 マグネット圧粉成形パンチ(SKD11)

目的 粉の付着防止、パンチ鏡面部の保護

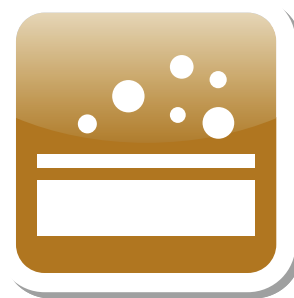
使用条件 無潤滑 上下プレス

結果 DLC-Hard 10,000ショット
高耐久性ICF 300,000ショット

30倍寿命向上

※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。

水素フリー ICF



大電力パルススパッタリング(HiPIMS)法は、大電力パルス出力をカーボンターゲットへ供給することにより高硬度な水素を含有しないDLC膜が成膜可能です。

3種からなる水素フリーICF

図1のような放電により高密度プラズマを生成し、高硬度水素フリーICF (TYPE I)、導電性水素フリーICF (TYPE III)、厚膜水素フリーICF (TYPE V)



図1 カーボンターゲット上での放電状況

の3種の成膜ができます(DLC及びカーボン膜は、TYPE I~VIに分類されています)。

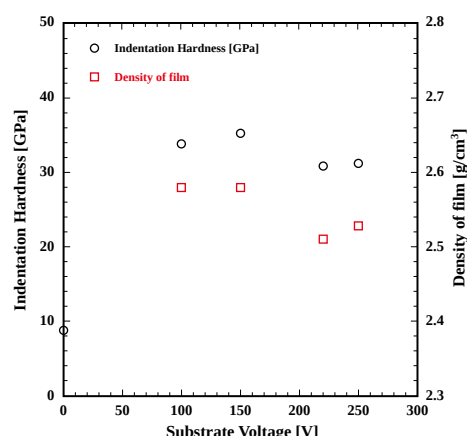


図2 硬さと膜密度

・高硬度水素フリーICF (TYPE I)

図2に示すような高硬度化が可能です。表面粗さも低く高硬度であるため、金型等へも利用可能です。

・導電性水素フリーICF (TYPE III)

導電性と摺動特性を求められる電極に最適な膜です。

・厚膜水素フリーICF (TYPE V)

低硬度であり応力が少なく厚膜化が可能です。図3に80μmの成膜を行った時のレーザー顕微鏡による表面状態、図4にSEMによる断面観察結果を示します。表面粗さが大きいですが、導電性を持つ膜が成膜可能であり、耐腐食性を要する用途等でも利用可能です。

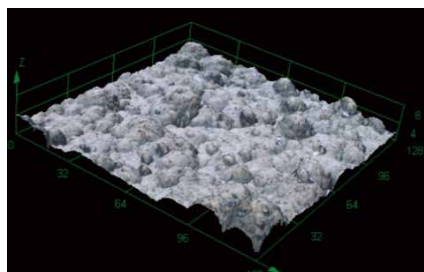


図3 80μmの膜表面状態

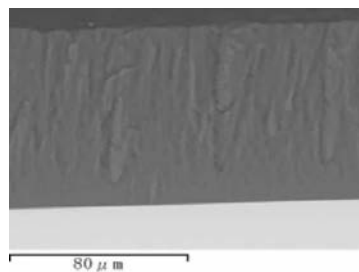


図4 80μmの膜断面のSEM像

仕様		用途
硬 度	TYPE I : HV1,800~2,700、TYPE III : HV90~600、TYPE V : HV10以下	非球面レンズ金型
膜 厚	TYPE I : 0.01~0.3μm、TYPE III : 0.02~1μm、TYPE V : 0.1~100μm	電極用保護膜
		マイクロ部品

※上記の値は、コーティング品の形状、材質等で若干の変動があります。



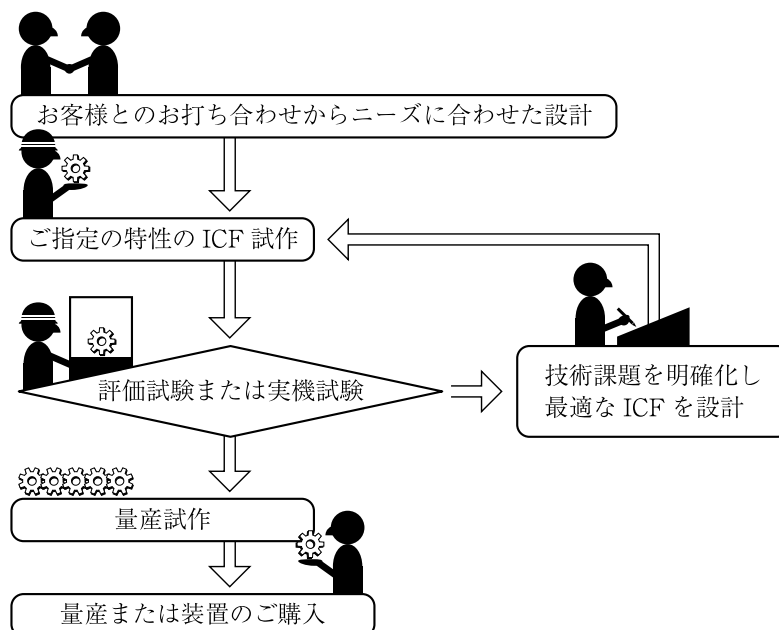
カスタマイズ ICF

顧客希望対応

硬度、摩擦係数、導電性、耐食性、酸素透過率、光吸収制御等の制御により、お客様の用途に適した設計を行います。

詳細仕様をお打ち合わせの上、コーティング受託加工から成膜装置、薄膜評価試験機販売・受託分析まで、トータルなサービスでお応えします。

納品までの流れ



受託研究・共同研究等のお問い合わせもご連絡下さい。

ナノテックグループでは、バイオ・材料物性評価・弱電機器の安全性試験・EMC試験も行っています。

開発例

- ・ 医療業界向けPLC(ポリマー・ライク・カーボン)
- ・ 印刷業界向け親水膜
- ・ セラミック素材への導電膜、耐凝着膜
- ・ 樹脂製品への保護膜

コーティング見積依頼・注文書

下記の各項目に御記入の上、正規代理店またはナノテック(株)までメールもしくはFAXして下さい。

_____ 宛 _____ 年 _____ 月 _____ 日

貴社名: _____ 御担当者: _____

御住所: _____

T E L : _____ F A X : _____ E-mail: _____

発送予定日: _____ 年 _____ 月 _____ 日 希望納期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

膜 種	品 名	寸 法	材 質	数 量

図面またはマンガ絵等（コーティング重要面、マスキングの要否を明示して下さい）

ナノテック株式会社 成膜技術セクター

TEL : 04-7135-6111 FAX : 04-7135-6126

E-mail : coating@nanotec-jp.com

正規代理店

ナノテック ビジョン

カーボンテクノロジーで人類の未来を創造する

我々は真空・プラズマによるコーティングのトータルサービス企業であり続け、お客様の価値創造をカーボンコーティング技術により支援します。

装置製造事業、受託成膜事業、分析事業の3つの柱で、環境・医療・素材を中心とした分野へ寄与します。

ISO規格作成、国際連携、産業育成に貢献し、国際社会の一員として豊かな人類の未来を創造します。



**NANOTEC
GROUP**

ナノ カーボンバレー **ナノテック**
ナノテック株式会社

〒277-0874

千葉県柏市柏インター南4番地6 ナノテクノプラザ

TEL:04-7135-6111 FAX:04-7135-6126

<https://www.nanotec-jp.com/>