

アクティブスクリーンプラズマ窒化の
最近の研究動向と研究成果

西本 明 生*

The Latest Research Trends and Research Results in
Active Screen Plasma Nitriding

Akio NISHIMOTO

Key words : Plasma Nitriding, Active Screen, Cathodic Cage,
Duplex Treatment

* 関西大学化学生命工学部 化学・物質工学科、
工博 (Department of Chemistry and Materials Engineering, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering, Kansai University)
住 所 : 〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3
-35 (3-3-35 Yamate-cho Suita-city Osaka 564-8680)
連絡方法 : Tel 06-6368-1121
Fax 06-6368-0730
E-mail akionisi@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

一般に窒化処理として、アンモニアガスの分解によって生じた活性な窒素を処理材に浸入させるガス窒化法、ナトリウム塩やカリウム塩などとシアン化物を用いる塩浴窒化法、窒素ガスを含む低真空中でグロー放電によって形成されたプラズマを利用するプラズマ窒化法が行われている。そのなかでもプラズマ窒化法は、イオンの衝突エネルギーによって処理材が加熱されるため外部加熱装置が不要で、活性なプラズマ状態の窒素原子およびイオンを利用するため、エネルギー消費量およびガス消費量が少なく、処理時間が短く非常に経済的で、環境への負荷も少ない処理法である。

このようにプラズマ窒化処理法は、その全処理工程における環境調和性および処理の高品質化、高性能化、低コスト化が厳しく求められる現在の背景において、その優位性が高まっている処理法である。しかし、プラズマ窒化処理は処理材を陰極として電圧を印加することにより、処理材表面でグロー放電を発生させてプラズマを形成するため、製品の形状や窒化処理時に以下に示すいくつかの制限がある。具体的には、①処理材の端部や突部へ放電が集中し改質層が不均一になるエッジ効果が発生するため、均一に処理することが難しいときがある。②処理中、瞬間的に放電形態が移行してアーク放電が発生した場合、処理材の一部が溶融して欠陥(アークキック)を生じる場合がある。③中実材の穴や管材で、また同時に多くの処理材に対して間隔を十分に離さずに処理を行うと、その間で放電部が重なり合いホローカソード放電が生じるときがあり、電離や励起が促進され不均一な窒化層が形成される。

これらの問題を解決するために多くの方法が検討されてきているが、そのなかの一つがアクティブスクリーンプラズマ窒化(ASP)処理法である^{(1)~(6)}。この方法は試料を電気的に絶縁し、その周囲に金属製のスクリーンを陰極として設

置する。ここに電圧を印加することで、試料表面ではなくスクリーン表面で窒素分子、原子、イオン、ラジカル、電子に加え、スクリーンの構成物質およびその窒化物が混在したプラズマを形成する。これらがガスの流れによって試料表面に蒸着し、これが内部に拡散することによって複雑な形状の被処理材に対しても均一に窒化処理を行うことができることになる。このことが試料表面で直接プラズマ形成されることなくエッジ効果が生じない理由となっている^{(1)(7)~(11)}。本窒化法はルクセンブルクの Plasma Metal 社で 1999 年に発明され⁽¹²⁾、以降はイギリスのバーミンガム大学を中心に研究が進められてきている。本稿では、これまでの ASPN 処理技術の研究動向を述べたのち、筆者の研究グループで行った研究事例のいくつかを紹介する。

2. ASPN 処理技術の研究動向

図1は抄録・索引データベースの Scopus において、「active screen plasma」, 「cathodic cage」および「through cage」でキーワード検索により論文発表数の推移を調べた結果(2013年2月現在)を示している。2001年に論文が発表されてから ASPN 法に関する論文発表数は増加している。図2は国別の論文発表数を示している。ASP) は、バーミンガム大学が研究を推進していることもあり、イギリスの論文発表数が突出していることがわかる。次いで、中国、ブラジル、イラン、日本、オーストラリアと続いている。

これまで低合金鋼⁽¹⁾⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、炭素鋼⁽¹¹⁾⁽¹³⁾、オーステナイト系ステンレス鋼⁽⁸⁾⁽⁹⁾、二相系ステンレス鋼⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、フェライト系ステンレス鋼⁽¹⁶⁾、チタン合金⁽¹⁷⁾などの窒化・浸炭窒化特性が調べられている。また、直接放電を行わないために、非導電性であるセラミックや樹脂材料の表面処理も可能であるという特徴のある報告例もある^{(18)~(20)}。また、窒化特性に及ぼす試料の形状、スクリーンの形状、試料とスクリーンの距離、ガス圧力、バイアス電圧等の各種パラメータの影

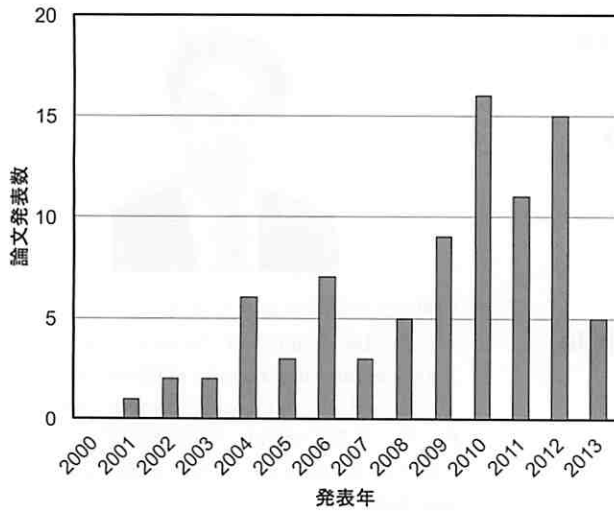


図1 ASPN 処理に関する論文発表数の推移

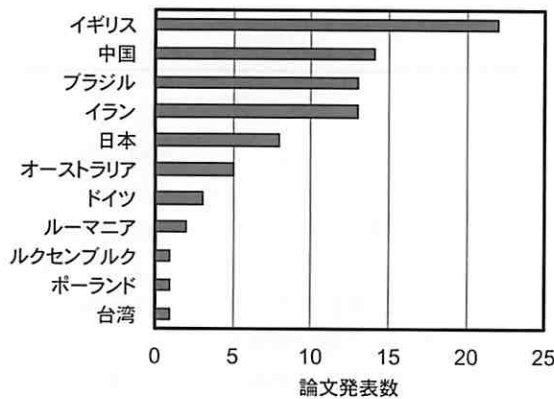


図2 国別の ASPN 処理に関する論文発表数

響^{(10)(11)(13)(21)~(28)}が調べられている。さらに ASPN 処理中の分光分析⁽²⁹⁾が行われている。最近では工具鋼や窒化用鋼に対してチタンスクリーンを用いて窒化チタン (TiN) コーティングと ASPN の同時複合処理⁽³⁰⁾⁽³¹⁾も行われている。複合処理として ASPN と CVD⁽³²⁾⁽³³⁾ やレーザーラッドと ASPN⁽³⁴⁾ の組合せで行われている。さらに、材料表面の生体適合性の改善に関する研究として、ポリプロピレン⁽³⁵⁾、ポリカプロラクトン⁽³⁶⁾、超高分子量ポリエチレン⁽³⁷⁾、医療用ステンレス鋼⁽³⁸⁾ に対して ASPN 処理が行われ、医療用ステンレス鋼に対して銀や銅スクリーンによる窒化と銀・銅コーティング⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾が行われている。

3. ASPN に関する最近の研究成果

3.1 ASPN 処理に及ぼすプロセスパラメータの影響

ASPN 処理ではスクリーン上でプラズマを形成するため、スクリーンが窒化に大きな影響を及ぼす。しかしながら、スクリーンやその他のプロセスパラメータが窒化層に及ぼす影響はあまり明らかとなっていない。本研究ではスクリーン/試料間の距離とガス圧力の関係およびスクリーンの開孔率と側面形状の影響について調査した^{(13)(25)~(27)(41)}。

スクリーン/試料間の距離とガス圧力の関係の調査では、試料としてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 を、ス

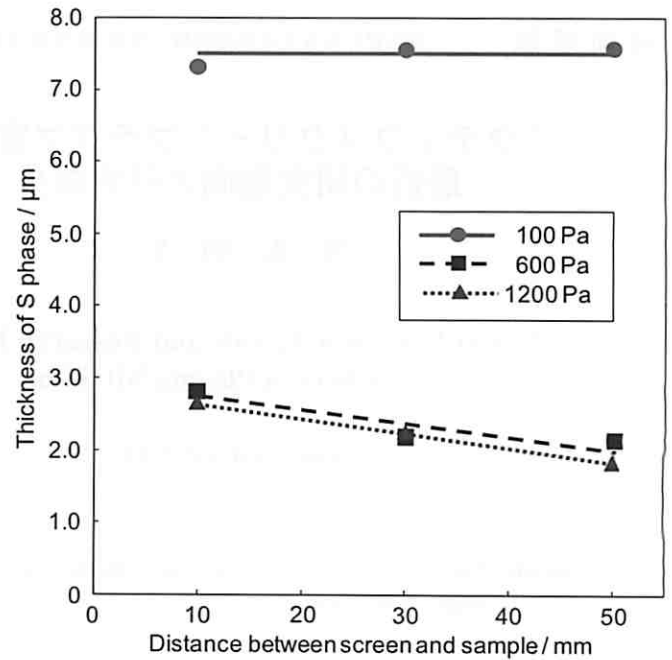


図3 ASPN 処理した SUS 304 の窒化層 (S 相) 厚さに及ぼすスクリーンと試料の距離およびガス圧力の影響⁽²⁶⁾

クリーンとして SUS 304 のエキスパンドメタルを用いた。処理条件はスクリーン/試料間の距離を 10, 30 および 50 mm とし、ガス圧力を 100, 600 および 1200 Pa、ガス流量比 $N_2 : H_2 = 1 : 3$ および処理時間 18 ks とし、723 K で ASPN 処理を施した。スクリーンの開孔率と側面形状の影響の調査では、試料およびスクリーンとしてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 316L を用いた。処理条件は開孔率が 38, 48 および 63% のエキスパンドメタルスクリーンと、2 種類の側面形状のスクリーンの計 6 種類で、処理温度 693 K、ガス圧力 600 Pa、ガス流量比 $N_2 : H_2 = 1 : 3$ および処理時間 18 ks で ASPN 処理を施した。

図 3 に窒化層 (S 相) 厚さに及ぼすスクリーンと試料の距離およびガス圧力の影響を示す。高ガス圧力ではスクリーン/試料間の距離が大きくなると窒化層の厚さが減少した。一方、低ガス圧力ではスクリーン/試料間の距離によらず窒化層厚さは均一で、大きくなった。ASPN 処理ではスクリーンが試料に対する熱の供給の役割を果たす。このため、ガス圧力を小さくすることでガスによる試料およびスクリーンの冷却作用が小さくなり、均一な処理が可能になったと考えられる。

スクリーンの開孔率と側面形状の影響の調査では、図 4 に示すようにスクリーンの開孔率が小さくなると窒化層 (S 相) 厚さは大きくなった。これはスクリーンの開孔率が小さくなると、スクリーンでの放電面積が増大するために、窒化層厚さが大きくなったと考えられる。一方で、スクリーンの側面形状は窒化層厚さに大きな影響を与えなかった。これは図 5 の構造図に示すように、ASPN 処理においてスクリーン側面ではなくスクリーン上部が窒化に大きな影響を及ぼすことを示唆している。

3.2 フェライト系ステンレス鋼の ASPN 処理

優れた耐食性のために幅広く用いられているステンレス鋼

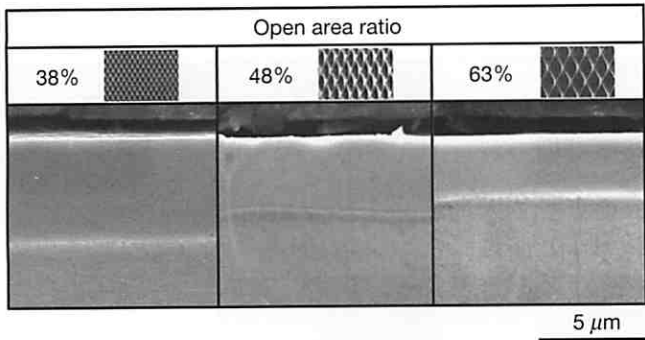


図4 ASPN処理したSUS 304の窒化層(S相)厚さに及ぼすスクリーン開孔率の影響

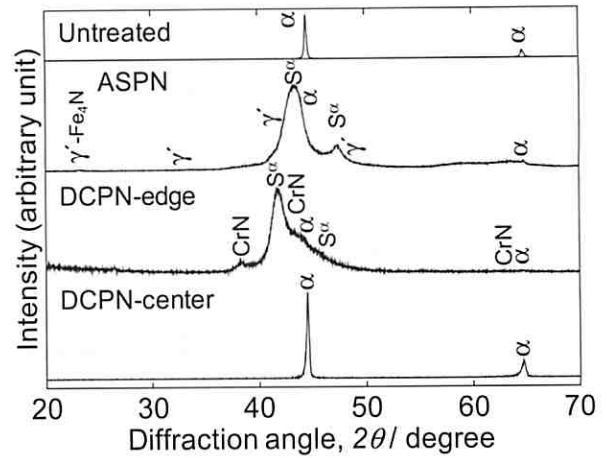


図6 673 Kで ASPN 処理した SUS 430 の X 線回折図形

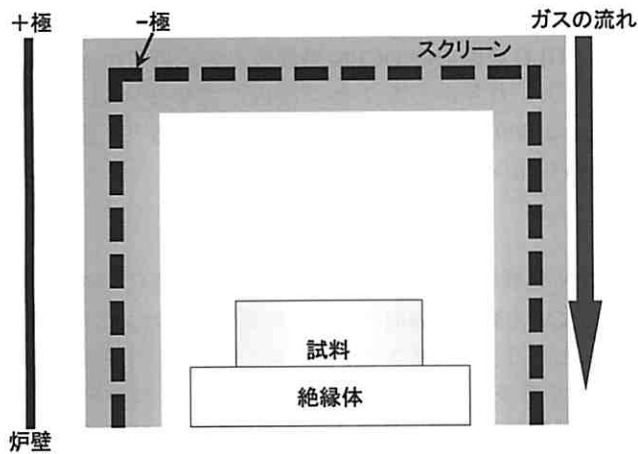


図5 ASPN 処理におけるスクリーンと試料の構造図

は、硬さが低いために耐摩耗性に劣り、摺動部品に適用しにくいという欠点がある。このため、低温窒化がステンレス鋼に施されるが、この研究は主としてオーステナイト系ステンレス鋼でなされており、フェライト系ステンレス鋼に関する研究例は少ない。本研究ではフェライト系ステンレス鋼の耐食性を損なうことなく、耐摩耗性を向上させることを目的として ASPN 処理を施した⁽¹⁶⁾。

試料としてフェライト系ステンレス鋼 SUS 430 を用いた。処理条件は処理温度 623 K ~ 823 K、処理時間 18 ks、ガス圧力 600 Pa、ガス流量比 $N_2 : H_2 = 1 : 3$ で、スクリーンとして SUS 304 のエキスパンドメタルを用いて ASPN 処理を施した。

図 6 に X 線回折試験の結果を示す。673 K で処理した試料からフェライト相への窒素の過飽和固溶体と考えられる S'' 相が検出された⁽⁴²⁾。摩擦・摩耗試験の結果、窒化処理を施した試料は未処理材よりも摩擦量が大きく減少した。孔食試験の結果、ASPEN 処理材は孔食電位が未処理材および直流プラズマ窒化 (DCPN) 処理材よりも向上した。ASPEN 処理材での孔食電位の上昇は表面に形成された薄い堆積層のためであると考えられる。この堆積層はスクリーン材である SUS 304 に由来する Ni を含むために耐孔食性がよいと考えられる。

3.3 ASPN 法を応用した TiN 皮膜と窒素拡散層の同時形成処理

PVD や CVD といった気相蒸着法で形成される硬質皮膜は、基材との密着性を高めるために前処理として窒化が行われている。この 2 段階の処理では処理時間やエネルギー消費量が増加するため、より優れたプロセスの開発の試みとして、ASPEN 処理を応用した窒化と硬質皮膜の同時形成処理を行った⁽³¹⁾。

試料として窒化用鋼 SACM 645 を、スクリーンとしてチタンの二重スクリーンを用いた。二重スクリーンを用いることにより、スクリーン間でホローカソード放電を生じさせ、イオンや活性種の発生の増大を図っている。処理温度 873 K、処理時間 18 ks にて、試料にバイアス電圧を印加していない ASPEN 処理 (0%-bias) および電気的に絶縁していない試料にバイアス電圧を 100% 印加した ASPEN 処理 (100%-bias) を施した。

TiN の膜厚と処理時間の関係の調査では、処理時間に正比例して TiN 皮膜の厚さが増加した。これは TiN 皮膜の成長は拡散ではなく、スクリーンで形成された窒化物の堆積によることを示唆している。

断面硬さ分布測定の結果を図 7 に示す。100%-bias の試料の硬さは表面から内部に向かって徐々に低下したが、0%-bias の試料では急激に硬さが低下した。断面組織観察の結果、100%-bias の試料では中央部および端部のいずれにおいても窒素拡散層と考えられる領域が確認された。バイアスを印加せずに処理を施した場合 (0%-bias)、窒素との親和力の強い Ti は TiN となり、表面に堆積するのみで窒素は内部に拡散しない。一方、100%-bias の場合、試料の表面でもスパッタリングが生じ、スパッタリングされた Fe がプラズマ中で FeN となり、FeN が安定な低濃度窒化物に分解される過程で放出する窒素が試料内部に拡散し、拡散層を形成したと考えられる。

3.4 ASPEN と DLC コーティングの複合処理

表面改質処理の際、改質層と基材の密着性が重要な物性のひとつとしてあげられ、気相蒸着法によって形成された皮膜の多くは密着性が悪いことが問題点とされる。密着性は基材

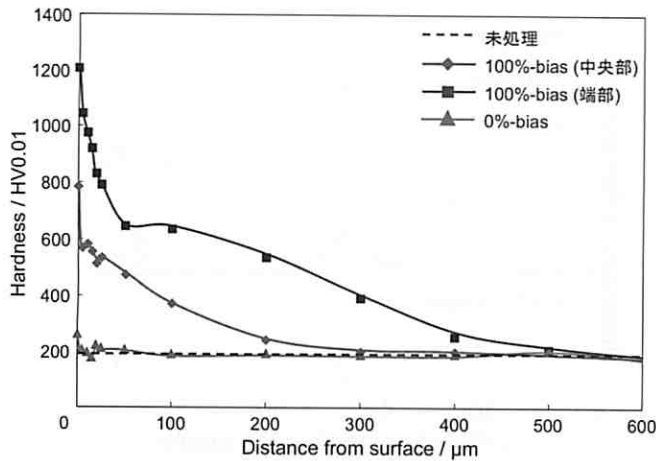


図7 Tiスクリーンを用いて ASPN 処理した SACM 645 の断面硬さプロファイル

と皮膜の両者の物性（強度、硬さ、熱膨張係数など）や基材・皮膜界面の性状や形態に大きく影響される。このため窒化と PVD や CVD を組み合わせた複合処理が施され、密着性改善の取組みがなされている。この処理では、TiN や DLC などの硬質皮膜と基材の間に窒素拡散層などの中間層を形成させるため、皮膜と基材との密着性が向上するので、寿命をいちじるしく延ばすことができる。そこで本研究では ASPN とプラズマ CVD 法によるダイヤモンドライクカーボン (DLC) コーティングの複合処理を行い、その性質を調査することを目的とした⁽³³⁾。

試料としてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 を用いた。試料は機械研磨とバフ研磨で鏡面に仕上げ、ASPN 処理と DCPN 処理を行い、その後プラズマ CVD 法を用いて DLC を成膜した。窒化処理は温度 673 K、時間 18 ks、ガス比は $N_2 : H_2 = 1 : 3$ で行った。ASPN 処理では処理圧力を 100 および 600 Pa とし、DCPN 処理では 600 Pa とした。プラズマ CVD 処理は前処理として Ar イオンボンバードを 0.6 ks 施し、その後中間層として Si + DLC 層を被覆し、最後に CH_4 ガスで DLC を 5.4 ks 成膜した。

摩擦・摩耗試験を行った結果、窒化処理のみの試料は、摩擦力が基材とほとんど変わらないかそれ以上となった。DLC 成膜後ではいずれの試料でも摩擦力の低下がみられ、100 Pa の ASPN 材に DLC を成膜した試料がもっとも低くなった。DLC を成膜した試料の試験後の摩耗量は、計測できないほど少なかった。相手材であるボールの摩耗は、未処理材に DLC を成膜した試料が最も少なかった。また窒化処理後に DLC を成膜した試料においても減少しており、窒化処理の条件を変化させても摩耗量に大きな違いはみられなかった。ボール摩耗量が未処理材に DLC を成膜した試料より窒化後に DLC を成膜した試料で増加したのは、窒化処理により表面粗さが増し、その後 2000 HV 程度の硬さの DLC を成膜したことで相手材の摩耗を促進させたと考えられる。

図 8 に DLC を成膜した試料に対しロックウェル圧痕試験を行った結果を示す。未処理材および ASPN 処理材に DLC を成膜した試料では膜の剥離は確認されなかった。一方 DCPN 処理後に DLC を成膜した試料では、剥離がみられた。

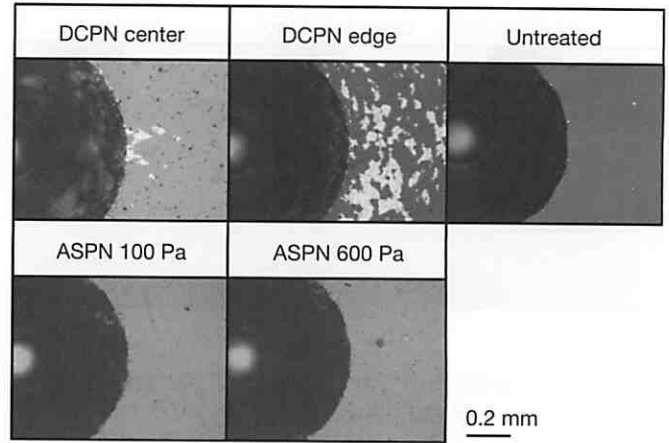


図8 ロックウェル圧痕試験後の DLC 成膜試料

これは DLC 成膜前の DCPN 処理後の表面粗さが ASPN 処理後よりも大きかったことに起因していると思われる。100 Pa と 600 Pa の ASPN 処理材と比較すると、膜の密着性に違いは認められなかった。

4. おわりに

ASPN 処理技術は、従来の直流プラズマ窒化処理の欠点とされていた処理材表面のエッジ効果やアーキング等を回避することが可能であることから、新しいプラズマ表面改質技術として将来の展開が期待されている。この数年間には ASPN 処理技術の応用に関する発表が数多くなされてきた。このなかからいくつかでもアプリケーションにつながることを期待している。

(2013 年 3 月 12 日受理)

参考文献

- (1) J. Georges : "TC plasma nitriding", Heat Treat. Met., **28**, p.33 (2001).
- (2) 朝比奈秀一, 金山信幸, 鈴木寿直, 後藤峰男 : "アクティブスクリーンプラズマ窒化装置と処理特性", 工業加熱, **44**, 2, p.41 (2007).
- (3) T. Bell and C.X. Li : "Active screen plasma nitriding of materials", Int. Heat Treat. Surf. Eng., **1**, p.34 (2007).
- (4) C.X. Li : "Active screen plasma nitriding—an overview", Surf. Eng., **26**, p.135 (2010).
- (5) 西本明生 : "アクティブスクリーンを用いた新プラズマ窒化技術", 化学工業, **61**, p.382 (2010).
- (6) 朝比奈秀一, 植田 優, 松尾英明, 金山信幸 : "アクティブスクリーンプラズマ窒化処理—技術概観と処理特性—", 熱処理, **52**, p.301 (2012).
- (7) C.X. Li, T. Bell and H. Dong : "A study of active screen plasma nitriding", Surf. Eng., **18**, p.174 (2002).
- (8) C.X. Li, J. Georges and X.Y. Li : "Active screen plasma nitriding of austenitic stainless steel", Surf. Eng., **18**, p.453 (2002).
- (9) C.X. Li and T. Bell : "Corrosion properties of active screen plasma nitrided 316 austenitic stainless steel", Corros. Sci., **46**, p.1527 (2004).
- (10) Sh. Ahangarani, F. Mahboubi and A.R. Sabour : "Effects of various nitriding parameters on active screen plasma ni-

- triding behavior of a low-alloy steel”, *Vacuum*, **80**, p.1032 (2006).
- (11) P. Hubbard, S.J. Dowey, E.D. Doyle and D.G. McCulloch : “Influence of bias and in situ cleaning on through cage (TC) or active screen plasma nitrided (ASPN) steels”, *Surf. Eng.*, **22**, p.243 (2006).
 - (12) J. Georges : “Nitriding process and nitriding furnace therefor”, US Patent, 5989363 (1999).
 - (13) A. Nishimoto, A. Tokuda and K. Akamatsu : “Effect of through cage on active screen plasma nitriding properties”, *Mater. Trans.*, **50**, p.1169 (2009).
 - (14) K. Nagatsuka, A. Nishimoto and K. Akamatsu : “Low temperature plasma nitriding of high silicon duplex stainless steel”, *J. Jpn. Soc. Heat Treat.*, **49**, (Spec. Iss.), p.312 (2009).
 - (15) K. Nagatsuka, A. Nishimoto and K. Akamatsu : “Surface hardening of duplex stainless steel by low temperature active screen plasma nitriding”, *Surf. Coat. Technol.*, **205**, p.S295 (2010).
 - (16) H. Nii and A. Nishimoto : “Surface modification of ferritic stainless steel by active screen plasma nitriding”, *J. Phys. Conf. Ser.*, **379**, 012052 (2012).
 - (17) A. Nishimoto, T.E. Bell and T. Bell : “Feasibility study of active screen plasma nitriding of titanium alloy”, *Surf. Eng.*, **26**, p.79 (2010).
 - (18) C.X. Li and T. Bell : “Potential of plasma nitriding of polymer for improved hardness and wear resistance”, *J. Mater. Process. Technol.*, **168**, p.219 (2005).
 - (19) Á.E. Crespi, M.E.H.M. da Costa, C.A. Figueroa, M.E.R. Dotto, A.P. Kauling, G.V. Soares, I.J.R. Baumvol and C. Giacomelli : “Carbon nitride film deposition by active screen plasma nitriding”, *Mater. Lett.*, **65**, p.2985 (2011).
 - (20) X. Fu, M.J. Jenkins, I. Bertoti and H. Dong : “Characterization of active screen plasma modified polyurethane surfaces”, *Surf. Coat. Technol.*, **206**, p.4799 (2012).
 - (21) S.C. Gallo and H. Dong : “On the fundamental mechanisms of active screen plasma nitriding”, *Vacuum*, **84**, p.321 (2009).
 - (22) R.R.M. de Sousa, F.O. de Araújo, J.A.P. da Costa, T. Dumelow, R.S. de Oliveira and C. Alves Jr. : “Nitriding in cathodic cage of stainless steel AISI 316 : Influence of sample position”, *Vacuum*, **83**, p.1402 (2009).
 - (23) S. Asahina, T. Hosotani and N. Kanayama : “Plasma nitriding behaviors under simplified screens made of some metals”, *J. Jpn. Soc. Heat Treat.*, **49**, (Spec. Iss.), p.49 (2009).
 - (24) S.C. Gallo and H. Dong : “Study of active screen plasma processing conditions for carburising and nitriding austenitic stainless steel”, *Surf. Coat. Technol.*, **203**, p.3669(2009).
 - (25) A. Nishimoto, K. Nagatsuka, R. Narita, H. Nii and K. Akamatsu : “Effect of the distance between screen and sample on active screen plasma nitriding properties”, *Surf. Coat. Technol.*, **205**, p.S365 (2010).
 - (26) A. Nishimoto, K. Nagatsuka, R. Narita, H. Nii and K. Akamatsu : “Effect of gas pressure on active screen plasma nitriding response”, *J. ASTM Int.*, **8**, ID JAI103286 (2011).
 - (27) A. Nishimoto, H. Nii, T. Haruna, T. Maruyama and H. Miyake : “Effect of nitriding parameter on active screen plasma nitriding response of SACM645 steel”, *Sci. Technol. Rep. Kansai Univ.*, **54**, p.183 (2012).
 - (28) R.R.M. de Sousa, F.O. de Araújo, L.C. Gontijo, J.A.P. da Costa and C. Alves Jr. : “Cathodic cage plasma nitriding (CCPN) of austenitic stainless steel (AISI 316) : Influence of the different ratios of the (N_2/H_2) on the nitrided layers properties”, *Vacuum*, **86**, p.2048 (2012).
 - (29) I. Burlacov, K. Börner, H.J. Spies, H. Biermann, D. Lopatik, H. Zimmermann and J. Röpcke : “In-situ monitoring of plasma enhanced nitriding processes using infrared absorption and mass spectroscopy”, *Surf. Coat. Technol.*, **206**, p.3955 (2012).
 - (30) A. Yazdani, M. Soltanieh, H. Aghajani and S. Rastegari : “A new method for deposition of nano sized titanium nitride on steels”, *Vacuum*, **86**, p.131 (2011).
 - (31) A. Nishimoto, H. Nii, R. Narita and K. Akamatsu : “Simultaneous duplex process of TiN coating and nitriding by active screen plasma nitriding”, *Surf. Coat. Technol.*, **228**, p.S558 (2013).
 - (32) M. Raoufi, Sh. Mirdamadi, F. Mahboubi, Sh. Ahangarani, M.S. Mahdipoor and H. Elmkhah : “Effect of active screen plasma nitriding pretreatment on wear behavior of TiN coating deposited by PACVD technique”, *Appl. Surf. Sci.*, **258**, p.7820 (2012).
 - (33) 天野 伶, 堀井佑記, 西本明生 : “アクティブスクリーンプラズマ窒化と DLC コーティングの複合処理”, 第 74 回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集, **74**, p.11 (2012).
 - (34) X.D. Zhang, B.S. Xu, S.Y. Dong, Z.J. Wang, H. Dong and Q.F. Li : “Characterization on duplex treated coating fabricated by laser cladding and active screen plasma nitriding”, *Appl. Mech. Mater.*, **69**, p.93 (2011).
 - (35) A.P. Kauling, G.V. Soares, C.A. Figueroa, R.V.B. de Oliveira, I.J.R. Baumvol, C. Giacomelli and L. Miotti : “Polypropylene surface modification by active screen plasma nitriding”, *Mater. Sci. Eng. C*, **29**, p.363 (2009).
 - (36) X. Fu, R.L. Sammons, I. Bertoti, M.J. Jenkins and H. Dong : “Active screen plasma surface modification of polycaprolactone to improve cell attachment”, *J. Biomed. Mater. Res. B*, **100B**, p.314 (2012).
 - (37) G. Kaklamani, N. Mehrban, J. Chen, J. Bowen, H. Dong, L. Grover and A. Stamboulis : “Effect of plasma surface modification on the biocompatibility of UHMWPE”, *Biomed. Mater.*, **5**, 054102 (2010).
 - (38) J. Buhagiar, A. Spiteri, M. Sacco, E. Sinagra and H. Dong : “Augmentation of crevice corrosion resistance of medical grade 316LVM stainless steel by plasma carburising”, *Corr. Sci.*, **59**, p.169 (2012).
 - (39) Y. Dong, X. Li, R. Sammons and H. Dong : “The generation of wear-resistant antimicrobial stainless steel surfaces by active screen plasma alloying with N and nanocrystalline Ag”, *J. Biomed. Mater. Res. B*, **93B**, p.185 (2010).
 - (40) Y. Dong, X. Li, T. Bell, R. Sammons and H. Dong : “Surface microstructure and antibacterial property of an active-screen plasma alloyed austenitic stainless steel surface with Cu and N”, *Biomed. Mater.*, **5**, 054105 (2010).
 - (41) 松川竜也, 二井裕瑛, 西本明生 : “アクティブスクリーンプラズマ窒化におよぼすスクリーンの開孔率の影響”, 第 73 回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集, **73**, p.1 (2012).
 - (42) L.C. Gontijo, R. Machado, L.C. Casteletti, S.E. Kuri and P.A.P. Nascente : “X-ray diffraction characterisation of expanded austenite and ferrite in plasma nitrided stainless steels”, *Surf. Eng.*, **26**, p.265 (2010).

平成 23 年度日本熱処理技術協会・技術賞（粉生賞）受賞

西 本 明 生

平成 6 年 3 月関西大学工学部材料工学科を卒業，平成 8 年 3 月大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了，同博士後期課程を単位取得後平成 12 年 4 月関西大学工学部助手に着任し，平成 12 年 11 月博士（工学）取得。専任講師を経て平成 19 年 4 月英国バーミンガム大学名誉研究員（平成 20 年 3 月まで）。関西大学化学生命工学部准教授となり，現在に至る。

研究開発では，熱処理および表面改質技術の向上に関する研究開発に積極的に取り組む。ステンレス鋼の高温における耐熱性や耐酸化性の付与の可能性に関しては，各種ステンレス鋼へのクロムおよびケイ素の複合拡散浸透処理やパルス通電焼結法によるステンレス鋼への機能性金属間化合物皮膜の調製を行った。また，オーステナイト系ステンレス鋼の低温プラズマ窒化では，窒化特性の向上に及ぼす基材の合金元素の影響，基材の前処理としての塑性加工の影響などを明らかにした。最近はアクティブスクリーンプラズマ窒化の基礎的研究として，窒化特性に及ぼすスクリーンの形状や材質の影響，スクリーンと試料との間隔の影響ならびにガス圧力の影響など多岐にわたる研究を行っている。平成 19 年から 1 年間の在外研究では英国バーミンガム大学において故 T. Bell 教授のグループと共同研究を行い，チタン合金へのアクティブスクリーンプラズマ窒化処理が可能であることを明らかにした。また，平成 22 年に本会の「アクティブスクリーンプラズマ炭窒化処理研究部会」の委員として参画し研究成果は本協会講演大会（平成 13 年春季，平成 14 年春季講演大会で研究発表奨励賞をそれぞれ受賞），IFHTSE 国際会議，アジア熱処理会議および PSE 国際会議などで発表を行う。本協会では西部支部常任幹事，平成 17 年に 50 周年記念国際会議実行委員会委員，平成 20 年 10 月神戸開催の IFHTSE 国際会議でも精力的に活動している。