

# 高 cleanliness を有する半導体製造装置用 SUS316L 「SANCLEAN® シリーズ」

SANCLEAN® Series : High-Cleanliness SUS316L Stainless Steel for Semiconductor Manufacturing Equipment

## 1. はじめに

半導体デバイスは、情報通信やAI、自動車分野などを支える基幹部品であり、今後も高性能化・高集積化の流れが続くと見込まれる。これに伴い半導体製造プロセスは一層高度化しており、製造装置に使用される材料にも、従来以上に高い信頼性と清浄度が求められている。

半導体製造装置の配管、バルブ、継手などには、耐食性に優れるSUS316Lが広く使用されている。一方で、装置の要求水準が上がるにつれて、材料中の介在物や、溶接時に発生するフュームが、腐食やパーティクルの起点となり得る点が課題となっている。

当社の半導体製造装置用クリーンステンレス鋼「SANCLEAN®シリーズ」(SUS316L)は、こうした課題に対し、「介在物清浄度」と「耐フューム性」を両輪として、装置用材料に求められるリスク因子を下げることを基本コンセプトとしている。図1に、SANCLEAN®のコンセプトを示す。具体的には、介在物形成に関わる要因(酸素)を抑えた高 cleanliness 化により介在物起因の腐食リスクを低減するとともに、フューム化しやすい元素(Mn,Cu,S)の低減により、フューム発生を抑制を狙っている。図1中に記載のSEMIとは、半導体製造装置用材料(Semiconductor

Equipment and Materials International)規格であり、F20の項で、SUS316Lにおいて各グレード(GP,HP,UHP)\*が満たすべき介在物清浄度の値が指定されている。

※・GP(General Purpose):

厳格な清浄度要求を必要としない用途向け

・HP(High Purity):

高性能な化学薬品供給・分配システム用途向け

・UHP(Ultra-High Purity):

最適な性能が要求される高度な化学薬品供給・分配システム用途向け

更に、装置や部位ごとに要求水準が異なることを踏まえ、SANCLEAN®では溶製法の異なる3クラスを設定し、クラスに応じて介在物清浄度と耐フューム性を段階的に高める商品群としている。表1に、各クラスの特長を示す。これらの特長により、SANCLEAN®は半導体製造装置用材料として使用され、材料起因リスク低減の観点で適用が進んでいる。

本報では、上述のコンセプトに基づくSANCLEAN®の特長と、半導体製造装置用材料に求められる諸特性への適合性について紹介する。

## 2. 特長

### 2.1. 成分と清浄度

半導体製造装置用材料においては、腐食やパーティクル発生を抑制に直結することから、化学成分と清浄度が重要な要素となる。

#### 2.1.1. 化学成分

SANCLEAN®の化学成分例を表2に示す。SANCLEAN®はSUS316L一般品と比較し、O,Mn,Cu,Sを低減することで、介在物清浄度、耐孔食性、耐フューム性を向上させている。顧客の要求レベルや使用環境、コストに合わせ、クラスを選択できる。

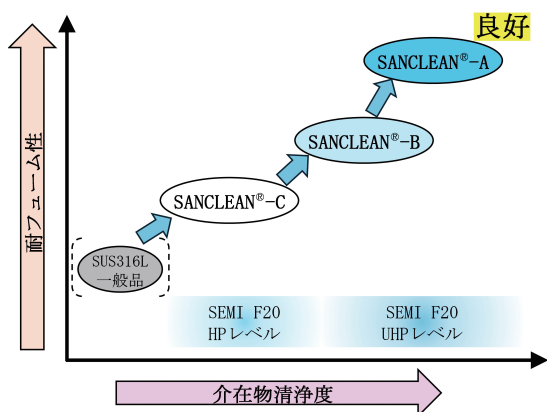


図1 SANCLEAN®シリーズのコンセプト図

表1 SANCLEAN®各クラスの特長

| 名称(クラス)     | 溶製法          | 特長                                                                                                  |
|-------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SANCLEAN®-A | VIM-VAR 材    | 真空誘導溶解炉(VIM)による1次溶解と真空アーク再溶解(VAR)による2次溶解、および原料厳選によりO,Mn,Cu,Sを極限まで低減し、シリーズ中で最も優れた介在物清浄度、耐フューム性を有する。  |
| SANCLEAN®-B | 大気溶解 - VAR 材 | 優れた製鋼技術により作製した母材の真空アーク再溶解(VAR)による2次溶解、および原料厳選によりO,Mn,Cu,Sを低減し、介在物清浄度、耐孔食性、耐フューム性に優れている。             |
| SANCLEAN®-C | 大気溶解材        | 軸受鋼等で培った当社の強みである高 cleanliness 技術を活用し、大気溶解材でありながら、SUS316L一般品と比較しO,Mn,Sを低減し、介在物清浄度、耐孔食性、耐フューム性に優れている。 |

### 2.1.2. 介在物清浄度

半導体製造装置用材料において介在物清浄度が高いことは、耐食性向上や、表面品質の向上に寄与する。SEMI規格では、F20 6.4.2にて、ASTM E45-18a A法に従う介在物清浄度評価手法と閾値が適用されている。同手法により評価した介在物清浄度例を表3に示す。SUS316L一般品と比較し、SANCLEAN®-A,B,Cそれぞれが高い清浄度である。また、クラスが上がるとともに優れた清浄度となる。

### 2.1.3. 介在物定量評価

鋼材中介在物のより詳細な定量評価手法として、自動粒子解析を行った。自動粒子解析SEM(ASPEX Explorer)を用い、評価対象を酸化物・硫化物とし、ある評価面積の介在物を検出・分析した結果（介在物面積率）の一例を図2に示す。

SUS316L一般品と比較し、SANCLEAN®-A,B,Cそれぞれ、介在物面積率が低い。また、クラスが上がるとともに介在物面積率が低い。

## 2.2. 耐食性

半導体製造装置では腐食性が高いプロセスガスなどを扱うため、材料には高い耐食性が求められる。

### 2.2.1. 耐孔食性

JIS G0578の耐孔食試験手法(6%FeCl<sub>3</sub>, 35℃, 24hr)に則って評価した耐孔食性の評価例を図3に示す。SUS316L一般品と比較し、SANCLEAN®-B,Cそれぞれ良好な耐孔食性を示す。また、クラスが上がるとともに耐孔食性が向上する。

表2 SANCLEAN®およびSUS316L一般品の化学成分実績例、SEMI F20の化学成分規定（質量%）

|             | C       | Si     | Mn     | S       | Ni        | Cr          | Mo        | Cu       | O  |
|-------------|---------|--------|--------|---------|-----------|-------------|-----------|----------|----|
| SANCLEAN®-A | 0.01    | 0.15   | 超極低    | ≤ 0.001 | 14.9      | 16.3        | 2.5       | 超極低      | 極低 |
| SANCLEAN®-B | 0.01    | 0.25   | 極低     | 0.002   | 13.2      | 16.6        | 2.1       | 極低       | 極低 |
| SANCLEAN®-C | 0.01    | 0.55   | 低      | 0.001   | 12.3      | 17.5        | 2.1       | 0.32     | 低  |
| SUS316L 一般品 | 0.02    | 0.53   | 標準     | 0.015   | 12.1      | 17.3        | 2.0       | 0.32     | 標準 |
| SEMI UHP/HP | ≤ 0.030 | ≤ 1.00 | ≤ 1.5  | ≤ 0.010 | 10.0-15.0 | 16.00-18.00 | 2.00-3.00 | ≤ 0.30 ※ | —  |
| SEMI GP     | 〃       | 〃      | ≤ 2.00 | ≤ 0.012 | 〃         | 〃           | 〃         | —        | —  |

※ Cu は受渡当事者間協定が可能。

表3 SANCLEAN®およびSUS316L一般品の介在物清浄度例(ASTM E45-18a A法)

|             | A     |       | B     |       | C     |       | D     |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | T     | H     | T     | H     | T     | H     | T     | H     |
| SANCLEAN®-A | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.5   | 0     |
| SANCLEAN®-B | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1.0   | 0     |
| SANCLEAN®-C | 0     | 0     | 1.0   | 0     | 0     | 0     | 1.5   | 0.5   |
| SUS316L 一般品 | 1.5   | 0.5   | 1.0   | 0     | 1.5   | 1.0   | 1.0   | 0     |
| SEMI UHP    | ≤ 1.5 | ≤ 1.0 | ≤ 1.0 | ≤ 1.0 | ≤ 1.0 | ≤ 1.0 | ≤ 1.0 | ≤ 1.0 |
| SEMI HP     | ≤ 2.0 | ≤ 1.0 | ≤ 2.0 | ≤ 1.0 | ≤ 2.0 | ≤ 1.0 | ≤ 2.0 | ≤ 1.0 |
| SEMI GP     | ≤ 2.5 | ≤ 1.0 | ≤ 2.5 | ≤ 1.0 | ≤ 2.5 | ≤ 1.0 | ≤ 2.5 | ≤ 1.0 |

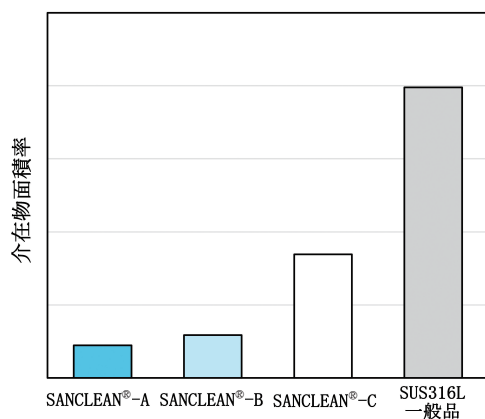


図2 介在物自動粒子解析結果例

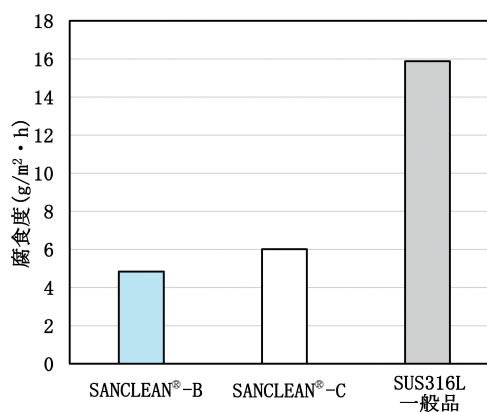


図3 耐孔食性評価結果例 (JIS G0578)

2.2.2. その他の腐食特性

SEMI F20 6.4.3に記載の、粒界腐食曲げ試験による耐粒界腐食性の評価例を表4に示す。677℃×1hrの鋭敏化処理を行った後、CuSO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(16%)沸騰溶液で15hr浸漬し、曲げ試験とき裂観察を実施した。SANCLEAN®-A,B,Cいずれもき裂は見られず、粒界腐食感受性は低い。

また、塩酸、硫酸での浸漬試験による耐全面腐食性の評価例を表4に示す。25℃の1%HCl中に6hr保持した後の腐食度と、25℃の5%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>中に6hr保持した後の腐食度を測定した。SUS316L一般品では僅かに腐食するが、SANCLEAN®-A,B,Cいずれも腐食は見られず、良好な耐全面腐食性を示す。

表4 粒界腐食曲げ評価、全面腐食試験結果例

| 鋼種             | 粒界腐食        | 全面腐食<br>(1%HCl)                | 全面腐食<br>(5%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) |
|----------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| SANCLEAN®-A    | ○<br>(き裂なし) | 0.0                            | 0.0                                         |
| SANCLEAN®-B    | ○<br>(き裂なし) | 0.0                            | 0.0                                         |
| SANCLEAN®-C    | ○<br>(き裂なし) | 0.0                            | 0.0                                         |
| SUS316L<br>一般品 | ○<br>(き裂なし) | 0.475<br>(g/m <sup>2</sup> ・h) | 0.205<br>(g/m <sup>2</sup> ・h)              |

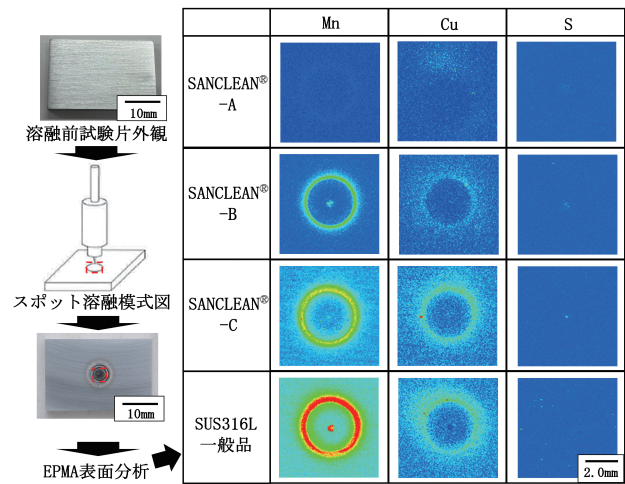


図4 フューム発生量評価実験モード図と評価結果例

2.3. 表面性状

半導体製造装置用材料においては、腐食やパーティクルを抑制する観点から、表面性状が極めて重要である。

2.3.1. フューム発生量

半導体製造装置用材料において、フュームは溶接時等に発塵し腐食の起点となるため、低減が必要である。フューム発生量を評価した実験モード図と結果例（フュームになりやすい元素(Mn,Cu,S))を図4に示す。板状試験片に対し、アーク放電によるスポット溶融を行い、EPMAで表面付着物の分析を実施した。SUS316L一般品と比較し、SANCLEAN®-A,B,Cそれぞれ、Mn,Cuのフューム付着量は少ない。また、クラスが上がるとともにMn,Cuのフューム付着量が減少する。また、Sの付着量は鋼種を問わず僅かである。

2.3.2. 表面粗さ

半導体製造装置用材料では、パーティクル発生防止（製品不良の原因）、洗浄性の向上等の観点で、良好な表面仕上げ性が必要である。SEMI F37では、素材が満たすべき表面粗さが規定されている。電解研磨を行った後の、表面粗さ測定結果例を表5に示す。SANCLEAN®-A,B,Cそれぞれ、良好な表面仕上げ性を持つ。

2.4. 機械的特性

半導体製造装置用材料では、溶接・加工時の信頼性、高圧・真空環境での安全性等の観点で、良好な機械的特性が求められる。SEMI F20 6.3.1では、JIS G4303に規定の機械的特性を満たすよう記載されている。表5に機械的特性（硬さ、0.2%耐力、引張強さ、伸び、絞り）の例を示す。SANCLEAN®-A,B,Cそれぞれ、JIS G4303を満たす良好な機械的特性である。

3. まとめ

本報では、当社「SANCLEAN®シリーズ」の主な特長と、半導体製造装置用途で求められる諸特性への適合性について紹介した。SANCLEAN®シリーズは、高清浄度と耐フューム性を両立するSUS316Lとして、半導体製造装置の高信頼化・清浄化に貢献している。

表5 表面粗さ評価結果例、機械的特性例

| 鋼種                 | 表面粗さ (SEMI F37) |                 |                 | 機械的特性 (SEMI F20 : JIS G4303) |                  |               |        |        |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------|---------------|--------|--------|
|                    | Ra Avg.<br>(μm) | Ra Max.<br>(μm) | Ry Max.<br>(μm) | 硬さ<br>(HBW)                  | 0.2% 耐力<br>(MPa) | 引張強さ<br>(MPa) | 伸び (%) | 絞り (%) |
| SANCLEAN®-A        | 0.03            | 0.03            | 0.18            | 142                          | 243              | 485           | 60     | 90     |
| SANCLEAN®-B        | 0.02            | 0.02            | 0.11            | 126                          | 209              | 508           | 64     | 84     |
| SANCLEAN®-C        | 0.03            | 0.03            | 0.25            | 145                          | 270              | 578           | 63     | 81     |
| SEMI UHP or JIS 規定 | <0.13           | <0.25           | <2.50           | <187                         | 175<             | 480<          | 40<    | 60<    |