

真空技術、プラズマ技術、薄膜技術
そして微細加工技術を用いる
技術者のための
シミュレーションソフトウェア



PEGASUS
Software

PEGASUS

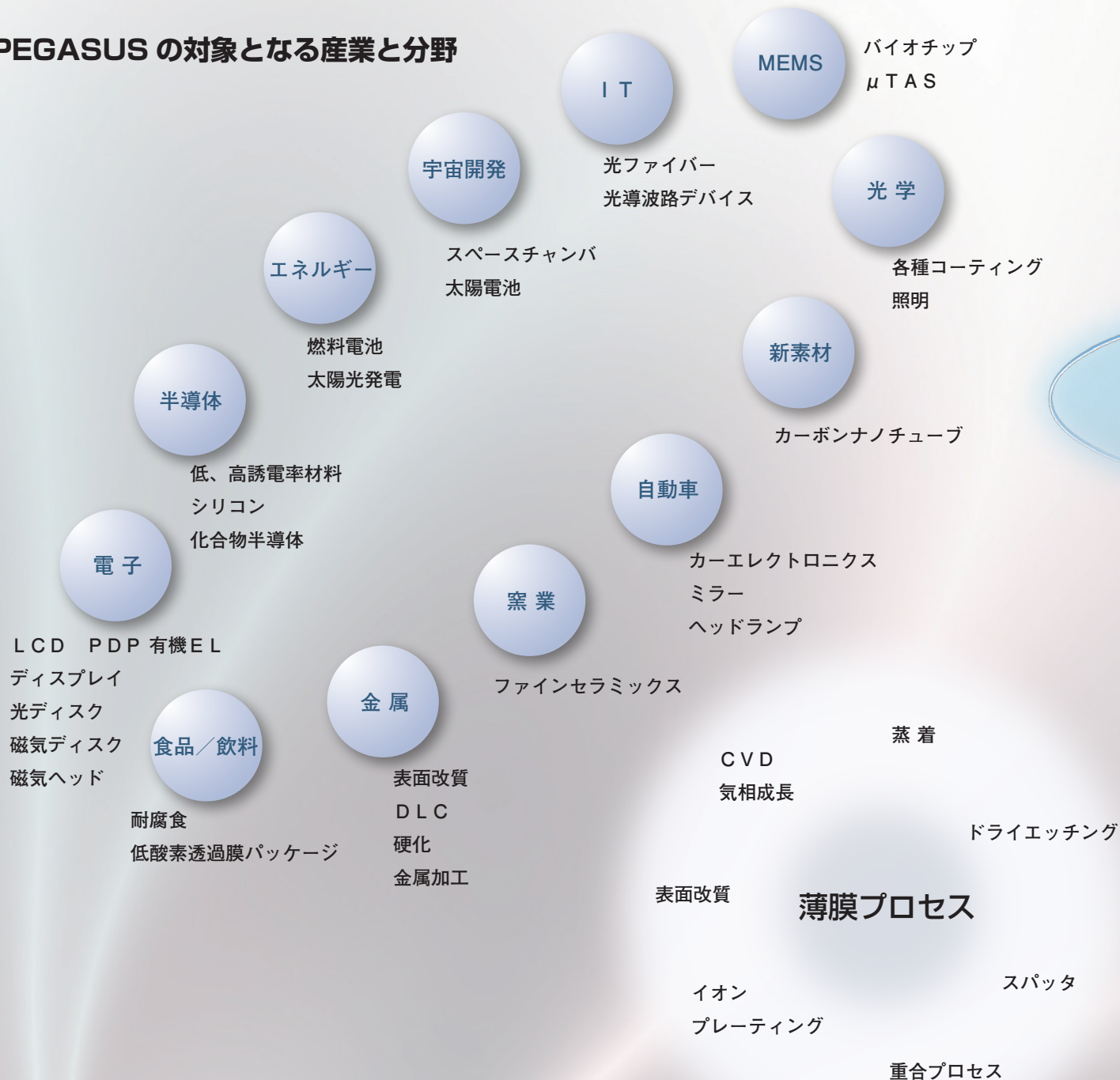
Plasma Enhanced materials processing
and rarefied GAS dynamics Unified Simulation tools

ペガサスソフトウェア株式会社

PEGASUS の特徴

- PEGASUS は、装置メーカー、材料メーカーそしてデバイスメーカーにおいて真空技術を利用した開発、製造に携わる技術者のためのシミュレーションソフトウェアです。
- PEGASUS は、真空薄膜技術で必要とされる多くのプロセスに関連するシミュレーションを行うことができます。
- PEGASUS は、装置サイズの気相シミュレーションからミクロンサイズの基板表面シミュレーションまで行うことができます。
- PEGASUS は、機能が異なる複数のモジュールで構成されています。
一つあるいは複数のモジュールを組み合わせることで使用することにより、お客さまの要求に応じたシミュレーションを行うことができます。

PEGASUS の対象となる産業と分野



PEGASUS の用途

希薄気体装置シミュレーション

- 各種真空装置、真空ポンプでの希薄気体挙動および粘性流
- 真空蒸着装置でのキャリアガス流れおよび膜厚分布

プラズマ装置シミュレーション

- PECVD/ エッチング装置での母ガス、荷電粒子、励起種、ラジカル挙動
- マグネトロンスパッタ装置でのプラズマ挙動およびスパッタ粒子挙動

真空技術

プラズマ技術

薄膜技術

微細加工技術

放電現象シミュレーション

- マグネトロン / ホローカソード / 沿面放電
- 荷電粒子ビーム挙動
- プラズマ源イオン注入
- プラズマ源表面改質
- マイクロプラズマ

形状シミュレーション

- PVD/PECVD/ エッチングにおける微細加工形状

希薄気体シミュレーション

- 希薄気体中のナノ粒子挙動
- 微細領域での原子・分子挙動
- 真空引き

PEGASUS 構成モジュールと特長

2次元気相モジュール

座標系はデカルト座標もしくは軸対称モデルです。
矩形メッシュ生成、境界条件の設定、そして制御データ生成が
GUIにより簡単な操作で行えます。使用者は装置条件、運転条件
に応じて使用するモジュールを選択します。

●MSSM（静磁場解析）

永久磁石、磁場コイルによる静磁場解析を行います。

荷電粒子種シミュレーション

PEGASUSは非平衡低温プラズマを対象とします。

●PHM

（プラズマ流体 / ハイブリッドモデル）

- 流体モデルは電子温度をエネルギー方程式により求め、
ハイブリッドモデルでは電子温度をモンテカルロ法によ
るエネルギー分布関数から求めます。
- 流体モデルを選択するときは、TTBEQを前もって実行
し、その出力ファイルを使用することにより精度良い
結果が得られます。
- イオン温度を一様と仮定していますが、IMCSMもしくは
SMCSMにより境界への入射イオン情報が得られます。

●PIC-MCCM

（Particle-In-Cell法 + モンテカルロ衝突法）

- PIC/MCC法に基づいています。
- 電磁界中での電子・イオンの運動方程式および静電位
のためのポアソン方程式を短い時間間隔で解くこと
により荷電粒子の挙動を計算します。
- 並列版もあります。

中性粒子種シミュレーション

●NMEM

（流体モデル）

混合ガスの運動はナビエ-ストークス方程式、温度は
エネルギー方程式を解き、各密度分布は移流-拡散方
程式を解きます。

●DSMCM

（直接シミュレーションモンテカルロ法）

- DSMC法に基づいた希薄気体の流れ場の解析に有効です。
- 粘性流についても新衝突法のオプションにより妥当な計
算時間での解析が可能です。

●IMCSM

（イオンモンテカルロシミュレーション）

PHMの出力結果を用いてイオンの挙動を解析し、境界への入
射イオンエネルギー・角度分布を求めます。

●RGS3D

（3次元直接シミュレーションモンテカルロ法）

- DSMC法に基づき3次元任意形状の流れ場を解析します。
- 粘性流についても新衝突法のオプションにより解析できます。
- 並列版もあります。

●FPSM2D/3D

（2次元 / 3次元形状シミュレーション）

- PECVD / ドライエッチングにおけるすべての物理化学反応を考
慮することが比較的容易に行えます。また物質表面の組成依存
性を扱うことが比較的容易に行えます。
- 複雑な物質、たとえばポーラスなどもランダムに空孔を導入する
ことにより扱えます。
- 確率論的手法ですので表面粗さなどのチェックにも使用できます。

3次元マグネトロンプラズマシミュレーション

●MSSM3D

（静磁場解析）

●PIC-MCCM3D

（Particle-In-Cell法 + モンテカルロ衝突法）

表面科学シミュレーション

●SASAMAL（イオン注入シミュレーション）

入射ドーズ量依存のイオン注入の深さ分布、組成分布を求めます。

●SPUTSM（スパッタリングシミュレーション）

SASAMALにより入射イオンによるスパッタ粒子情報を求めます。

●SMCSM（シースモンテカルロシミュレーション）

シースモデルもしくはPHMの結果を用いて荷電粒子の入射エネ
ルギー・角度分布を求めます。

標準装備モジュール

●GUIM

すべてのモジュールを制御するユーザインターフェイス
です。

原子・分子データベース

プラズマ中の電子、イオン、中性粒子間の気相中衝突反応
に関するデータです。

●TTBEQ（2項近似ボルツマン方程式解法）

- 電子輸送係数、平均エネルギー、レート係数などを求め
ます。
- 出力ファイルはPHMで使用されます。

PEGASUS 構成モジュールの仕様

中性粒子種シミュレーション				
モジュール名	NMEM	DSMCM	DSMCM3D	RGS3D
解析次元	2	2	3	2/3
メッシュ形状	矩形	矩形	直方体	3・4角形 /4面体、5面体、6面体
メッシュ生成方法	GUI	GUI	GUI	3次元直方体メッシュはGUI、他は市販のプレ
数学モデル	流体モデル	粒子モデル	粒子モデル	粒子モデル
数値解法	差分法	DSMC 法	DSMC 法	DSMC 法
並列版	有	有	有	有
反応	壁面	壁面	壁面	気相、壁面
移動境界	－	有	有	有、回転基板

プラズマシミュレーション							
モジュール名	MSSM	PIC-MCCM	PHM	IMCSM	MSSM3D	PIC-MCCM3D	TTBEQ
解析次元	2	2	2	2	3	3	0
メッシュ形状	矩形	矩形	矩形	PHM のメッシュを使用	直方体	直方体	－
メッシュ生成方法	GUI	GUI	GUI	－	GUI	GUI	－
数学モデル	A-φ 法	粒子モデル	ハイブリッド / 流体モデル	粒子モデル	T-Ω 法	粒子モデル	2項近似ボルツマン方程式
数値解法	有限要素法	PIC 法+モンテカルロ衝突法	差分法	モンテカルロ法	有限要素法	PIC 法+モンテカルロ衝突法	差分法
並列版	－	有	有	－	－	有	－
反応	－	気相、壁面	気相、壁面	気相	－	気相、壁面	気相
中性粒子計算とのカップリング	－	NMEM もしくは DSMCM	NMEM もしくは DSMCM	－	－	－	－

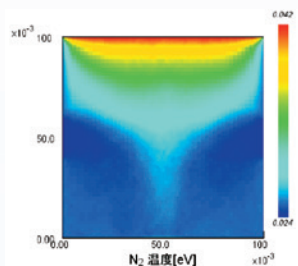
表面科学シミュレーション			
モジュール名	SASAMAL	SPUTSM	SMCSM
解析次元	1	1	1
メッシュ形状	－	－	－
数学モデル	2体衝突近似モデル	2体衝突近似モデル	粒子モデル
数値解法	モンテカルロ法	モンテカルロ法	モンテカルロ法
反応	－	－	気相

形状ミュレーション		
モジュール名	FPSM2D	FPSM3D
解析次元	2	3
メッシュ形状	矩形	直方体
メッシュ生成方法	GUI	GUI
数学モデル	粒子モデル	粒子モデル
数値解法	セル法 / モンテカルロ法	セル法 / モンテカルロ法
反応	壁面	壁面

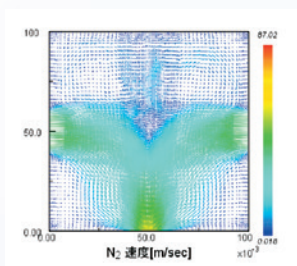
適用事例

各種真空装置での希薄気体挙動シミュレーション

使用モジュール：DSMCM

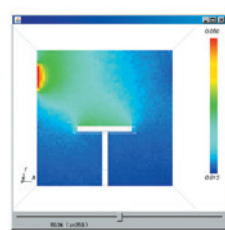


窒素分子温度分布

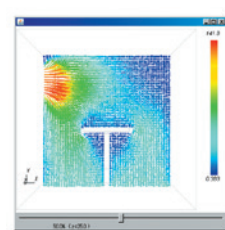


窒素分子速度分布

使用モジュール：RGS3D



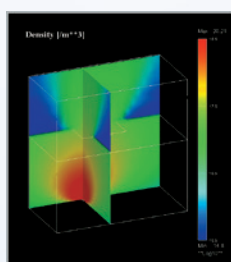
酸素分子圧力分布



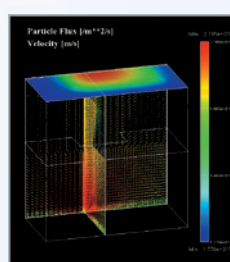
酸素分子速度分布

真空蒸着装置でのキャリアガス流れおよび膜厚分布シミュレーション

使用モジュール：RGS3D



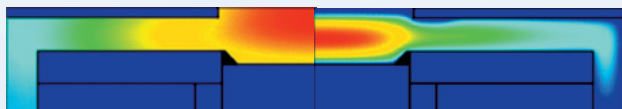
蒸発粒子密度分布



蒸発粒子速度分布と吸着フラックス分布

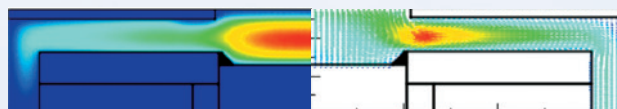
PECVD 装置での母ガス、荷電粒子、励起種、ラジカル挙動シミュレーション

使用モジュール：PIC - MCCM、NMEM



水素ラジカル密度分布

電子密度分布



H₃⁺ 密度分布

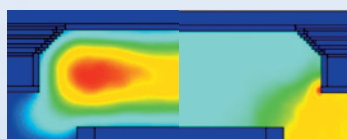
混合ガス速度分布

エッチング装置での母ガス、荷電粒子、励起種、ラジカル挙動シミュレーション

使用モジュール：PHM、DSMCM



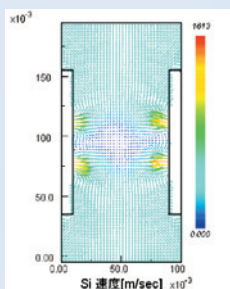
SF₂⁺ 密度分布 パワー吸収分布



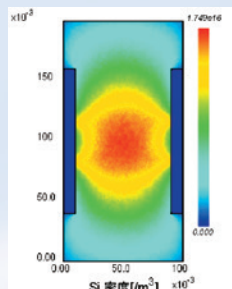
F ラジカル密度分布 SF₆ 密度分布

対向ターゲットマグネトロンスパッタ装置でのプラズマ挙動およびスパッタ粒子挙動シミュレーション

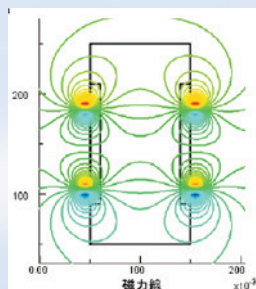
使用モジュール：SPUTSM、DSMCM



スパッタ粒子速度分布

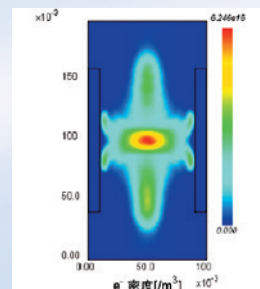


スパッタ粒子密度分布



磁力線

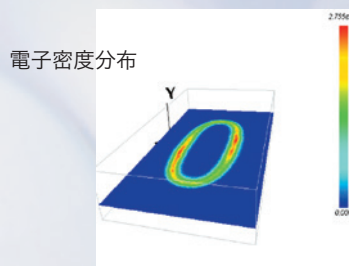
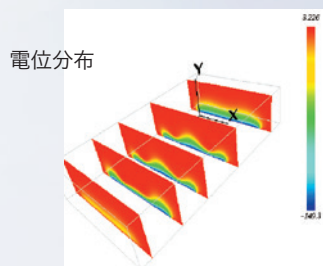
使用モジュール：MSSM、PIC - MCCM



電子密度分布

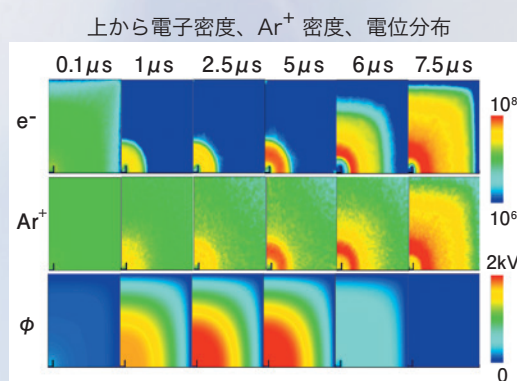
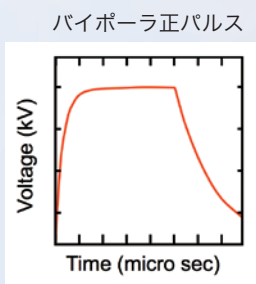
マグネトロンスパッタ装置での3次元プラズマ挙動シミュレーション

使用モジュール：**MSSM3D**、**PIC - MCCM3D**



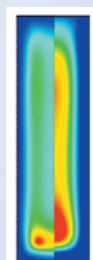
プラズマ源イオン注入 / 表面改質シミュレーション

使用モジュール：**PIC-MCCM**



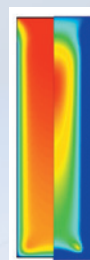
ホローカソード放電シミュレーション

使用モジュール：**PHM** (ハイブリッドモデル)



電子密度 (右)、電子発生率 (左) 分布

使用モジュール：**PHM** (流体モデル)

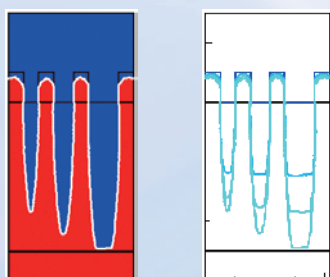


電子密度 (右)、電位 (左) 分布

左図：Ar、133[Pa]、-230[V] (DC)
右図：Ar、1330[Pa]、-300[V] (DC)

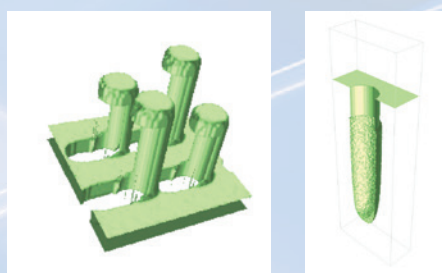
エッチング / PVD における微細加工形状シミュレーション

使用モジュール：**FPSM2D**



CF 系プラズマによる SiO_2 エッチング

使用モジュール：**FPSM3D**



Si エッチング (右)、PVD 蒸着膜 (左) 形状



PEGASUS
Software

ペガサスソフトウェア株式会社

〒104-0032 東京都中央区八丁堀二丁目 11 番 8 号 平澤ビル 2 階

電話 : 03 (3553) 7211 FAX : 03 (3553) 7212

E-mail : info@psinc.co.jp

URL : <http://www.psinc.co.jp/>