

基板反転および基板昇降機構を搭載した フォトニクスデバイス用 ECR スパッタ装置の開発

Development of ECR Sputtering System with Substrate Inversion and Elevation Function for Photonics Devices



中田 真生*
Masao Nakata



松本 竜弥*
Tatsuya Matsumoto



鈴木 賢*
Ken Suzuki



影山 浩二**
Koji Kageyama



博士(工学) 鳥居 博典**
Dr. Hironori Torii



千葉 理樹**
Masaki Chiba



博士(工学) 寅丸 雅光*
Dr. Masamitsu Toramaru



博士(工学) 神 好人*
Dr. Yoshito Jin

要 旨

半導体レーザは、医療、車載、通信、センサーなど多様な分野において応用が進んでおり、現代の産業を支える重要な発光素子である。特に端面発光レーザは、活性層の両端に誘電体多層膜の分散型ブラッグ反射鏡を配置することで共振器を形成し、高効率な光出力を実現している。多層膜の成膜特性はレーザの性能に直結するため、高純度かつ高精度な成膜が求められる。電子サイクロトロン共鳴（Electron Cyclotron Resonance: ECR）プラズマスパッタリング装置は、高密度・高平坦性の膜形成が可能であり、半導体レーザ用多層膜の成膜に適した技術として広く用いられている。一方、多層膜の製造工程では、基板両面への成膜に際して手動による反転操作が必要であり、工程の効率化が課題となっている。加えて反射防止膜（AR 膜）および高反射膜（HR 膜）は、光学膜厚を微細に調整する必要があるため、高い膜厚制御性が求められている。本報告では、フォトニクス分野における顧客要望に基づき、新規開発した基板反転機構および基板昇降機構を搭載したフォトニクスデバイス用 ECR スパッタ装置の構成および代表的な成膜特性について述べる。

— Synopsis —

Semiconductor lasers are increasingly being applied in various fields such as medicine, automotive, telecommunications, and sensors, and are important light-emitting devices that support modern industries. Edge-emitting lasers form a resonator by placing dielectric multilayer film distributed Bragg reflectors at both ends of the active layer, achieving high-efficiency optical output. Since the film deposition characteristics of multilayer films are directly linked to laser performance, high purity and high precision deposition are required. Electron Cyclotron Resonance (ECR) plasma sputtering devices can form high-density and highly planar films and are widely used as suitable technology for depositing multilayers for semiconductor lasers. On the other hand, the manufacturing process of multilayer films requires manual inversion operations for film deposition on both sides of the substrate, posing a challenge for process efficiency. Additionally, anti-reflective films (AR films) and high-reflective films (HR films) require fine adjustments to optical film thickness, necessitating high control of film thickness. This report discusses the configuration and representative film deposition characteristics of ECR sputtering devices equipped with a newly developed substrate inversion mechanism and substrate raising mechanism, based on customer requests in the field of photonics.

*: イノベーションマネジメント本部 電子デバイス技術研究所 / Device Technology Laboratory, Innovation Management Headquarters.

** : JSW アフティ (株) / JSW AFTY Corporation.

1. 緒 言

半導体レーザは利得媒体として化合物半導体を利用するレーザ発光素子であり、これまでテレコム通信用レーザ、加工用 / 照明用青色レーザ、記録媒体用赤色レーザ、プロジェクター用緑色レーザ、光ディスクドライブやレーザプリンター用の赤色レーザを含む様々な光波長で活用され、世界的な産業を支える重要な役割を果たしてきた。原理的には、半導体中の電子と正孔の再結合に基づき動作し、印加された電気エネルギーが光子として放出され、コヒーレントな光ビームが生成される。近年、新たなアプリケーションとして、医療、ヘルスケア、美容、宇宙、防衛、エンターテインメント、ディスプレイ、車載ヘッドライト、LiDAR を始めとする 3D センサー、データセンタ通信にレーザ技術が進化し、工業生産における革新的なソリューションを提供する期待が高まっている^{(1), (2)}。一方、半導体レーザは、その構造により端面発光レーザ (Edge Emitting Laser: EEL) と垂直共振器面発光レーザ (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL) に大別できる。VCSEL は低コスト製造が可能で温度安定性が高いが、光出力が小さいため、LiDAR や 3D センシング、近距離光通信に用いられ、2027 年に 43 億ドル規模に拡大する市場である。EEL は高周波かつ高出力で動作することが可能であり、長距離・大規模の光通信、レーザ加工、医療レーザメスに適している。市場規模は、VCSEL よりも大きく 2030 年までに 60 億ドル規模に拡大すると予想されている。EEL では、基板に対して端面 (側面) に光を出力するため、活性層の両側に光学 (誘電体) 膜を配置し、分散型ブラッグ反射 (Distributed Bragg Reflector: DBR) 型共振器を形成する。半導体レーザにとって DBR は寿命や光損失を決める重要なファクターであり、高純度で高精度の膜が要求される。EEL への DBR は様々な成膜法 (真空蒸着、DC/RF スパッタなど) で形成可能であるが、無加熱で高品質な成膜が可能な電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance: ECR) プラズマスパッタリング (以下、ECR スパッタ) 法が、高品質が求められる素子形成に採用されてきた^{(3) ~ (8)}。しかし、基板の両端面に DBR を形成する必要がある EEL では、例えば、低反射 (Anti Reflection: AR) 膜を形成した後、一旦、デバイスを真空から大気に取り出し、作業員により手動で反転させ、再び装置に搬入し真空排気した後、他面に高反射 (High Reflection: HR) 膜を形成する必要があった。そのため、製造プロセスの長時間化や、手作業による作業ミスの発生、ならびに大気への取り出しによって DBR を形成していない面が酸化し、レーザ物性の劣化を招くといった複数のデメリットが発生した。これらの課題から、顧客より ECR スパッタ法における真空一貫プロセスの省力化と高生産性が求められるようになった。加えて、EEL の AR 膜と HR 膜は、反射率を調整するために光学膜厚をターゲット波長 (λ) の $\lambda/4$ に調整する必要がある。特に紫外光領域を中心波長とした DBR は、短波長であるため各層の光学膜厚が数十 nm 程度と薄

く、成膜速度と膜厚分布を微細に調整できる制御性が求められる。

本報告では、フォトニクス分野における顧客要望に基づき、当社と JSW アフティ社が共同で新規開発した基板反転機構および基板昇降機構を搭載したフォトニクスデバイス用 ECR スパッタ装置の構成および代表的な成膜特性について述べる。

2. 装置基本構成と ECR プラズマ

ECR スパッタ装置の基本構成を図 1 に示す。大きく分けて真空排気系と試料台を持つ成膜室 (Sample Process Chamber: SPC) と、電子サイクロトロン共鳴プラズマを発生させる ECR プラズマ室から成る^{(3), (4)}。SPC と ECR プラズマ室を一旦高真空中に真空引きした後に、ガス導入口からプロセスガスを導入し、0.1 Pa 程度の真空状態とする。その後、磁気コイルにより ECR プラズマ室内に磁場を印加し、ECR プラズマ源底部にある導入窓からマイクロ波を導入することにより ECR プラズマが発生する。

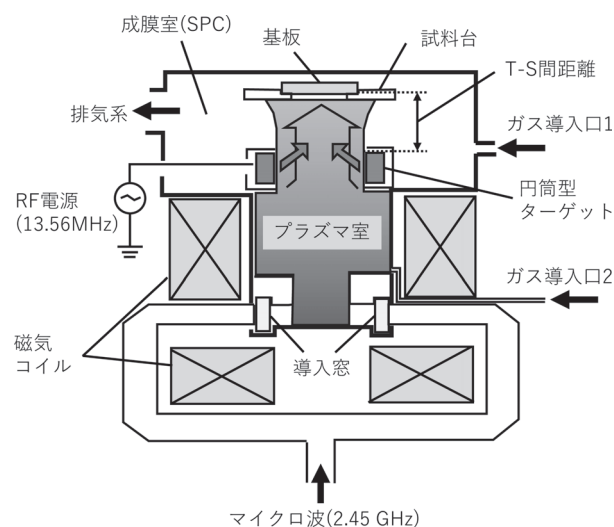


図1 ECR スパッタ装置の基本構成

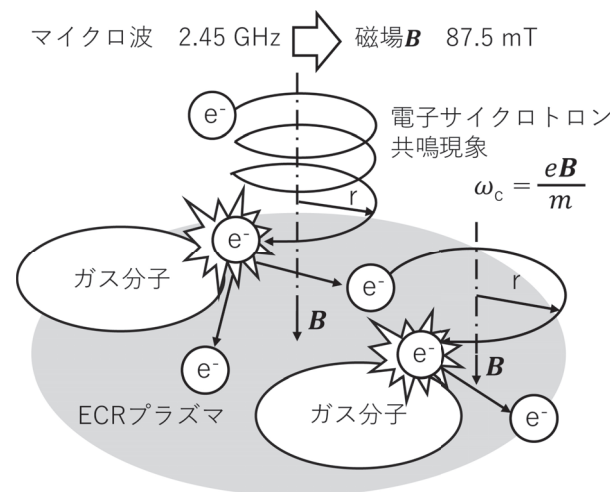


図2 ECR プラズマ生成原理

図2は、ECR プラズマ室で形成される ECR プラズマの生成原理の概略図である。ガスが導入された SPC およびプラズマ室は 0.1 Pa 以下の低圧となっており、プラズマ室に導波管を介して、周波数 ω のマイクロ波が導入される。また、プラズマ室の外部に設置された磁気コイルからは、磁場 B がプラズマ室に印加される。磁場中で電子 e^- はローレンツ力 F を受けて、サイクロトロン周波数 ω_c に従って、磁力線方向に向かって右回りのサイクロトロン半径 r で回転運動をする^{(9)~(13)}。 e は素電荷、 v は荷電粒子の速度、 m は電子の質量として下記式で示される。

$$\begin{aligned} F &= -evB, \\ r &= mv/eB, \\ \omega_c &= v/r = eB/m \end{aligned}$$

マイクロ波はプラズマ室に伝搬し、電子サイクロトロン波と呼ばれる右回りの円偏波を励起する。この円偏波は、 $\omega = \omega_c$ となる共鳴層 (ω_c を与える磁場領域) で急激に減衰しエネルギーが電子に吸収される。これは、共鳴層で電子の回転方向とマイクロ波電界の偏波面が常に一致するため、電子の運動が加速することにより促進される。本装置は、国際電気通信連合 (ITU) が割り当て、日本では J 規格: J55011 (H27) として指定された周波数である 2.45 GHz のマイクロ波を用いており、このときの共鳴磁場は 87.5 mT である。この回転運動の周期と電磁波の周期が一致した場合、電子は回転周期を保ちながら、電磁場のエネルギーを吸収し、次第に回転半径を増大させながら回転する。このため、電子の運動エネルギーは増大し、電子衝突によるガス分子の電離確率が高まり、電子が大量に放出されることで連続した高密度プラズマが発生する。磁気コイルから発生する磁場は、磁気モーメントを有するため、発散磁場中に電子が置かれると、磁場勾配に沿って電子はプラズマ室から SPC に向かって加速しながら移動する。一方、電離した正イオンも電子に引かれるように SPC に向かって移動する。したがって、プラズマ室から SPC に向けて電子と正イオンを含むプラズマ流として荷電粒子が引き出される。ECR プラズマではプラズマを引き出すために外部から磁場や電場を印加する必要はなく、発散磁界により自動的にイオンが引き出される特徴がある。ECR プラズマにより生成されるイオン電流密度は、10 mA/cm² レベルの非常に高い電流密度である^{(5)~(7)}。一方、ECR プラズマと試料表面にできるシース電位により、イオンは基板に到達するまでに 10 eV ~ 30 eV 程度のエネルギーを得る。この程度のエネルギーは半導体素子にダメージを与えることなく、分子の化学結合を促進するのに最適である⁽¹⁰⁾。

(11)

ECR スパッタ装置では、図1に示すようにプラズマ室から SPC に向かう引き出し口に原料となる円筒型ターゲットを設置しており、プラズマ流は、この円筒型ターゲットの中央部を通過して基板に照射される。一方、ターゲットには 13.56 MHz の高周波 (RF: Radio Frequency) 電力が印加され、ターゲット近傍のイオンをターゲット表面に引き込み衝突させることで、スパッタリング作用により基板上に薄膜が形成される。ここで円筒型ターゲットに純金属を用い、酸素 (O₂) ガスや窒素 (N₂) ガスを供給すると、活性化した ECR プラズマにより基板上で酸化または窒化反応が起こり、無加熱でも高品質な金属酸化膜・窒化膜を得ることができる。

3. 新規開発装置の構成

図3に、新規開発したフォトリソデバイス用 ECR スパッタ装置 (AFTEX-6500) の装置外観図を示す。表1に従来の ECR スパッタ装置 (AFTEX-6200) と比較した諸元表を示す。両装置は EEL の HR コートおよび AR コートの形成に最適な多層誘電体膜の成膜装置として ECR プラズマ室を 2 基搭載しており、オプションでプレーナマグネトロンスパッタを 2 基まで搭載可能である。AFTEX-6500 では、新たに基板中心と円筒型ターゲットの距離 (T-S 間距離) を任意に変更することができる基板昇降機構と、真空中で基板を反転することができる基板反転機構を完備した。

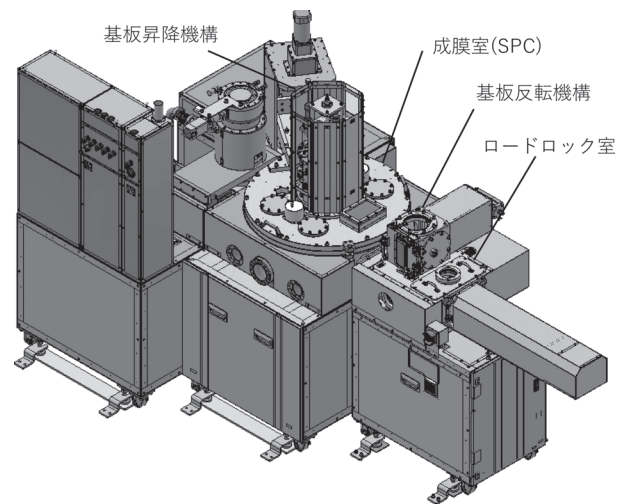


図3 AFTEX-6500 の装置外観図

基板昇降機構は SPC 内に搭載し、T-S 間距離を 164 mm から 265 mm の範囲で調整できる。これにより、イオン電流密度を制御し、ターゲットの消耗やプロセス条件の変動に依存することなく、膜厚の均一性を維持することが可能となる。

基板反転機構はロードロック室に搭載されている、基板やジグを真空中で連続して搬送・反転する機構であり、大気中に取り出すことなく AR および HR の両面の膜形成を可能とする。

表 1 新規開発 ECR スパッタ装置と従来装置比較

	新規開発	従来
型式	AFTEX-6500	AFTEX-6200
ECR プラズマ室 (試料台と水平対向配置)	2基搭載	2基搭載
マグネトロンスパッタ	2基搭載可能	2基搭載可能
対応基板サイズ	4 inch径	3 inch径
基板昇降機構	新開発	—
基板反転機構	新開発	—
レイアウト	W 5200 mm D 3200 mm H 1850 mm	W 4300 mm D 2850 mm H 1850 mm

4. プラズマ特性と膜特性

AFTEX-6500 の ECR プラズマ特性を把握するために、ラングミュアプローブ法を用いてイオン電流密度を測定した。引き出し口にある円筒型ターゲットの SPC 側の端から 100 mm の距離に、直径 90 mm の電氣的に絶縁されたステンレス製の円板を設置し、アルゴン (Ar) プラズマを発生させた後に、この円板に印加する負のバイアス電圧を -50 V まで変化させ、流入する電流の関係を調べた。そこから飽和電流値を取得し、円板の有効面積で除してイオン電流密度を算出した。

本装置は、ECR プラズマ室を 2 基 (“ECR1” と “ECR2”) 搭載している。それぞれのイオン電流密度の測定結果を図 4 に示す。測定条件は、Ar 流量 20 sccm、30 sccm、40 sccm、50 sccm、マイクロ波電力 300 W、500 W、700 W、900 W とした。図 4 の通り、イオン電流密度はマイクロ波電力が大きくなるに従って増加した。一方で、Ar 流量を増加させるとイオン電流密度が増加する傾向であったが、40 sccm と 50 sccm では飽和した。また、図 4 (a) と (b) より ECR1 と ECR2 は、イオン電流密度に大きな差がなく AFTEX-6200 と同様の傾向であった。

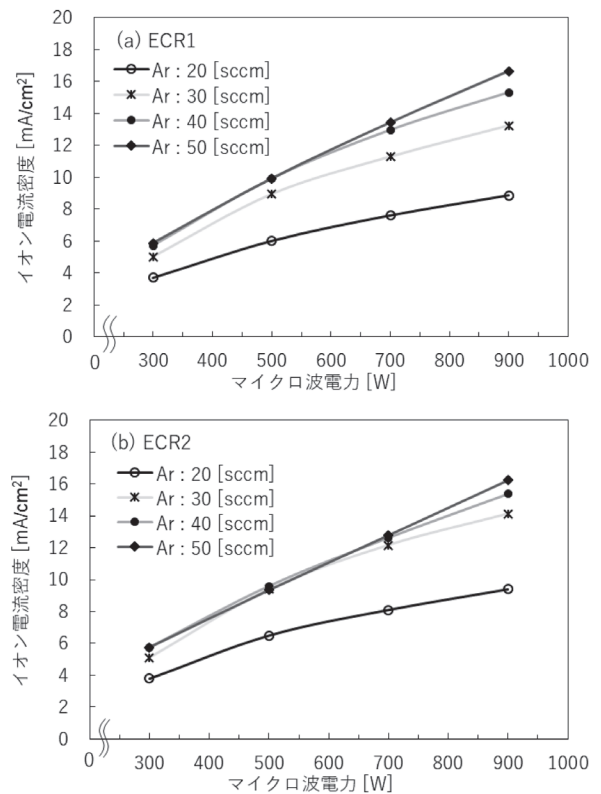


図 4 イオン電流密度測定結果 (a) ECR1、(b) ECR2

表 2 に、ECR スパッタ装置で主に使用されている膜種とそのターゲット材料、用途を示す⁽⁵⁾。

表 2 代表的な ECR 膜とターゲット材料および用途

膜種	薄膜	ターゲット	用途
酸化膜	Al ₂ O ₃	Al	光学膜 絶縁膜
	SiO ₂	Si	光学膜 絶縁膜
	ZrO ₂	Zr	光学膜
	HfO ₂	Hf	ゲート絶縁膜 電接
	Ta ₂ O ₅	Ta	光学膜
窒化膜	AlN	Al	光学膜
	SiN	Si	光学膜 保護膜
酸窒化膜	ZrON	Zr	ゲート絶縁膜
	HfON	Hf	ゲート絶縁膜
	AlON	Al	光学膜 屈折率制御
	SiON	Si	屈折率制御
透明導電膜	ITO	ITO	透明電極

ECR スパッタ法では、純金属ターゲットを使用することができるため、プロセスガスとして Ar + O₂ ガスを導入すれば酸化物が形成でき、Ar + N₂ ガスの導入で窒化膜が、Ar + N₂ + O₂ ガスの導入流量比率を変えることにより屈折率の制御可能な酸窒化膜が形成できる。実際に、半導体レーザでは、五酸化タンタル (Ta₂O₅) や酸化ハフニウム (HfO₂) などの高屈折率膜と、二酸化シリコン (SiO₂) や酸化アルミニウム (Al₂O₃) などの低屈折率膜を積層させて誘電体多層膜を形成することで、目的に応じた波長帯の HR コートと AR コートを成膜できる⁽¹⁴⁾。

AFTEX-6500とAFTEX-6200の光学特性を比較するために窒化シリコン(SiN)の成膜を行った。成膜条件は、Ar 流量 40 sccmとし、N₂ 流量 5 sccm、7 sccm、マイクロ波電力 500 W、ターゲット印加 RF 電力 500 W、T-S 間距離を 170 mm とした。

図 5 に AFTEX-6500 と AFTEX-6200 で成膜した SiN 膜の屈折率(n)と消費係数(k)の波長依存性を示す。分光エリプソメータ(SEMILAB 社製 SE-2000)を使用し 632.8 nm の波長の屈折率を測定した。N₂ 流量 7 sccm では、AFTEX-6500 の屈折率(n)が 2.01、AFTEX-6200 の屈折率(n)が 1.99 となり、若干の差異はあるものの同様の結果が得られた。消費係数(k)に関しては、AFTEX-6200 と AFTEX-6500 の両方で波長 400 nm 以上では吸収はなく、波長 320 nm 以下に吸収が観測された。

膜の表面粗さは半導体レーザの端面コートとしての膜特性を評価する上で重要な要素である⁽¹²⁾ため、AFTEX-6500 で形成した膜の表面粗さを、日立ハイテック製走査型プローブ顕微鏡(AFM5100N)の原子間力顕微鏡(AFM: Atomic Force Microscope)で観測した。DBR の高屈折率膜として実績のある Ta₂O₅ 膜で評価を行った。成膜条件は、Ar 流量 30 sccm、O₂ 流量 11.6 sccm、マイクロ波電力 500 W、ターゲット印加 RF 電力 500 W とした。

図 6 (a)に AFTEX-6500 で成膜した Ta₂O₅ 膜の AFM 像の平面図、図 6 (b)に鳥瞰図を示す。得られた AFM 像から算出した算術平均粗さ(Sa)は 0.09 nm と非常に優れた平坦性であった。従来の AFTEX-6200 の 0.11 nm と同等の平坦性を得られることが分かった。

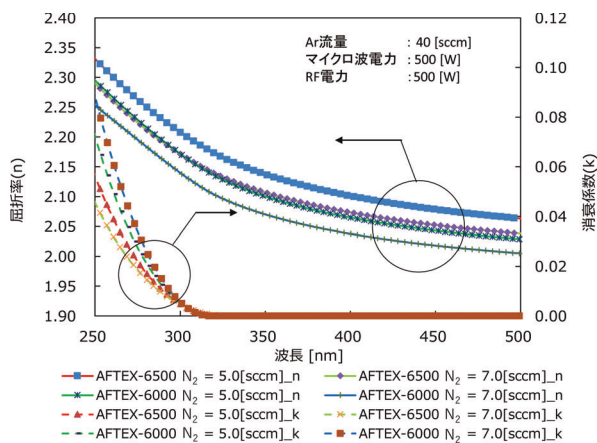


図 5 SiN 膜の屈折率および消費係数比較

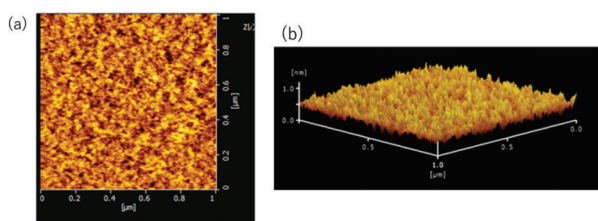


図 6 Ta₂O₅ 薄膜の AFM 像 (a) 平面図、(b) 鳥瞰図

5. 基板昇降機構

図 7 に基板昇降機構を使用し T-S 間距離を変化させた場合のラングミュアプローブの測定によるイオン電流密度分布の変化を示す。イオン電流密度の測定には、面積 10 mm² のラングミュアプローブが 20 mm 間隔で十字に 17 点並んだ測定器を使用した。基板の中心を 0 mm として、図 1 における手前から奥方向の -80 mm ~ +80 mm の範囲を X ポジション、左から右方向の -80 mm ~ +80 mm の範囲を Y ポジションとした。放電条件は、Ar 流量を 20 sccm、マイクロ波電力を (a) 300 W、(b) 500 W、(c) 700 W、T-S 間距離を 168 mm と 240 mm とした。

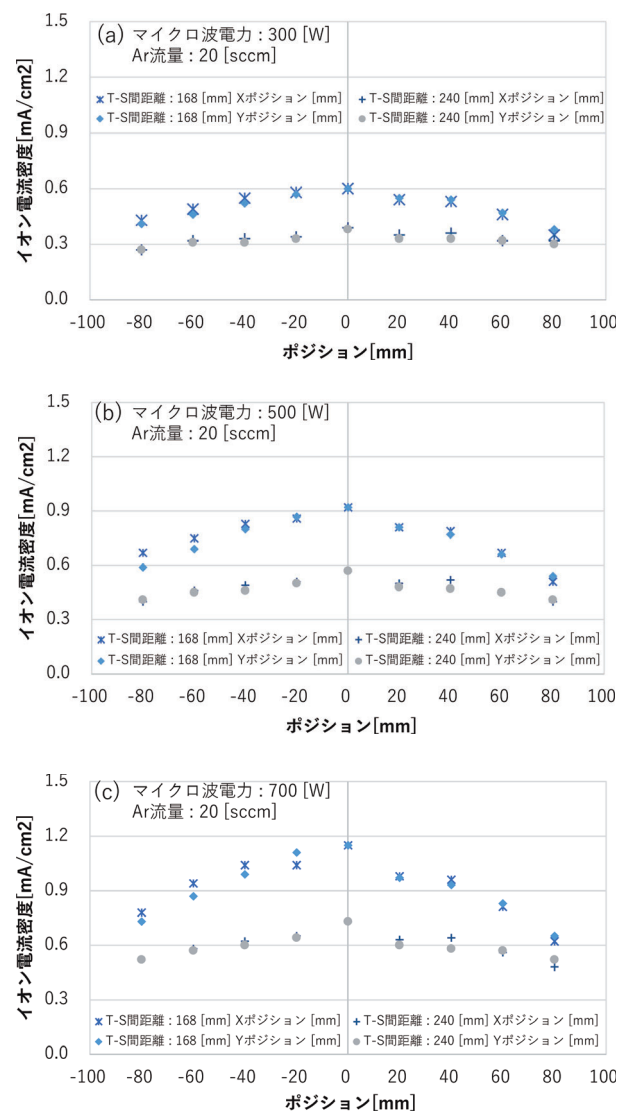


図 7 マイクロ波電力イオン電流密度分布
(a) 300 W、(b) 500 W、(c) 700 W

図 7 (a)、(b)、(c) のいずれのマイクロ波電力においても、T-S 間距離が 168 mm から 240 mm に増加、つまりプラズマ源と基板との距離を離すとイオン電流密度が減少するが、ポジション 0 を中心とする山形の分布が改善し面内均一性は向上した。また、マイクロ波電力が大きいほど、イオン電流密度の分布の改善効果が大きい傾向があった。AFTEX-6200 では、T-S 間距離を変えることができない構造のため、マイクロ波電力を下げることでイオン電流密度を下げる対処方法を探っていたが、マイクロ波電力を下げ過ぎるとプラズマがちらつき、放電の不安定性が課題であった。AFTEX-6500 で T-S 間距離を制御することにより、イオン電流密度が調整できることが示唆された。

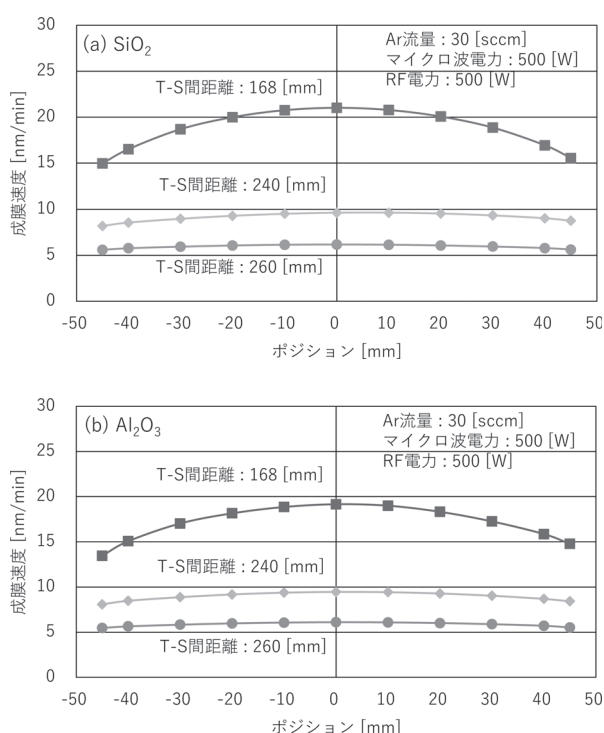


図 8 100 mm 径面内分布 (a) SiO₂ 膜、(b) Al₂O₃ 膜

図 8 に T-S 間距離を 168 mm から 260 mm に変化させたときの 100 mm 径の成膜速度の面内分布を示す。図 8 (a) は SiO₂ 膜、図 8 (b) は Al₂O₃ 膜の結果である。分光エリプソメータを用い波長 632.8 nm における屈折率と膜厚を測定した。測定箇所は、基板中心を 0 mm として -45 mm ~ +45 mm の範囲の 5 mm および 10 mm 間隔とした。SiO₂ 膜の成膜条件は、Ar 流量 30 sccm、O₂ 流量 8.8 sccm、マイクロ波電力 500 W、ターゲット印加 RF 電力 500 W とし、Al₂O₃ 膜の成膜条件は、Ar 流量 30 sccm、O₂ 流量 6.3 sccm、マイクロ波電力 500 W、ターゲット印加 RF 電力 500 W である。面内均一性と成膜速度均一性は以下の式で求めた。

$$\text{成膜速度の面内均一性} = \frac{\text{Max}-\text{Min}}{\text{Max}+\text{Min}} (\pm \%)$$

図 8 の通り、SiO₂ 膜と Al₂O₃ 膜のどちらも、T-S 間距離が 168 mm から 260 mm に増加すると面内均一性が改善し、SiO₂ 膜の面内均一性は ± 16.8 % から ± 4.9 % に、Al₂O₃ 膜は ± 18.6 % から ± 5.4 % に改善した。また T-S 間距離が 168 mm では、基板周辺部の成膜速度の落ち込みが顕著であったが、260 mm では中心との差が小さくなり、全体の均一性が大きく改善された。一方、T-S 間距離が増加すると成膜速度は低下しており、面内均一性と成膜速度がトレードオフとなっていることが分かった。

6. 基板反転機構

図 9 は、AFTEX-6500 と AFTEX-6200 の基板反転に関する手順である。AFTEX-6200 では、AR 成膜後大気へ基板を取り出して反転する作業時間が約 10 分かかっていたが、AFTEX-6500 では真空中で作業が完了するため、反転する時間が約 2 分に短縮される。加えて、手動反転が必要だった作業員が削減され、作業ミスを防止し、省力化することができる。

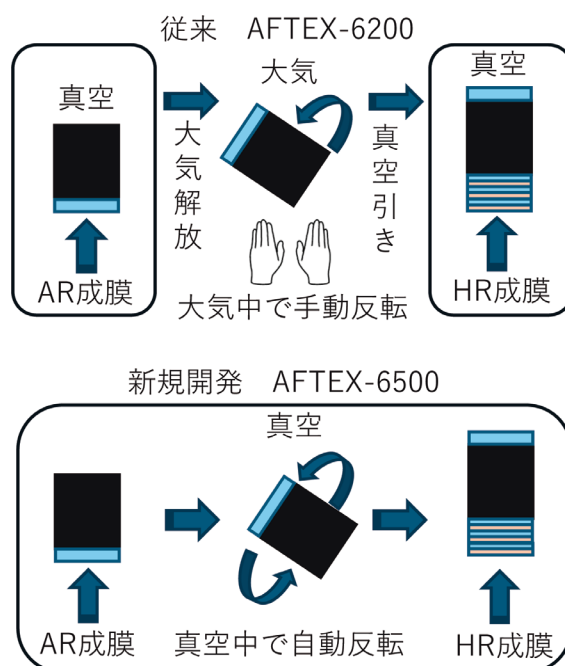


図 9 従来機と新規開発機の基板反転の手順比較

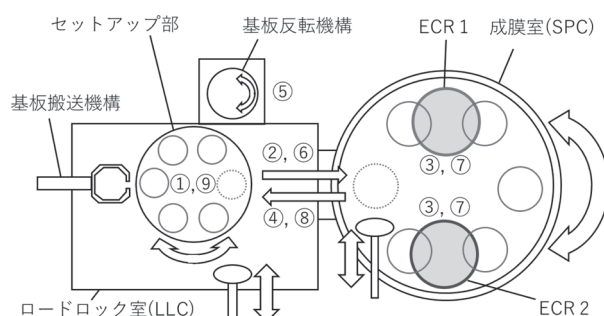


図 10 AFTEX-6500 の基板搬送系

図 10 に AFTEX-6500 の基板搬送系を示す。省スペースとプロセス時間の短縮を目的に、ロードロック室 (Lode Lock Chamber : LLC) は基板のセットアップ部、基板搬送機構、基板反転機構で構成されている。AR と HR を真空一貫で成膜する手順を①～⑨に示す。

- ① 大気状態で LLC 内のセットアップ部に基板を入れ真空排気を行う。
- ② 基板搬送機構により、基板を SPC に搬送する。
- ③ SPC 内で基板を回転移動して、各 ECR プラズマ室 (ECR1、ECR2) にて AR を積層成膜する。
- ④ 成膜完了後に、基板搬送機構により、基板を LLC に搬送する。
- ⑤ LLC 内部の昇降機によって、基板を反転位置に移動し、基板反転機構により反転する。
- ⑥ 基板搬送機構により、反転した基板を SPC に搬送する。
- ⑦ SPC 内で基板を回転移動して、各 ECR プラズマ室 (ECR1、ECR2) にて HR を積層成膜する。
- ⑧ 成膜完了後に、基板搬送機構により、基板を LLC に搬送する。
- ⑨ 大気解放を行い、基板をセットアップ部から取り出す。

製造プロセスへの耐久性を調査すべく、基板反転機構を用いた AR および HR の連続成膜を行った。表 3 にターゲット波長(λ) 450 nm に発振波長を持つ EEL を想定した AR および HR の膜構造と成膜条件を示す。本試験では、LLC にセットした基板を SPC に搬送し、ECR1 および ECR2 にて AR を成膜した後に LLC に搬送、基板反転機構を用いて真空中で反転を行い SPC に搬送、HR を成膜した。成膜した 35 枚の基板は、分光光度計 (日立ハイテックナリシス製 UH4150) にて反射率を測定し、各基板のバラつきを評価した。

表 3 AR および HR の膜構造と成膜条件

中心波長	450 nm
AR	Sub. / AlN / Al ₂ O ₃ / Ta ₂ O ₅ / Air
HR	Sub. / Al ₂ O ₃ / (Ta ₂ O ₅ / Al ₂ O ₃) × 10 pairs / Air
AlN 膜成膜条件	Ar 流量 : 40 sccm、N ₂ 流量 : 7.5 sccm、マイクロ波電力 : 500 W、RF 電力 : 500 W、T-S 間距離 : 170 mm
Al ₂ O ₃ 膜成膜条件	Ar 流量 : 40 sccm、O ₂ 流量 : 7.3 sccm、マイクロ波電力 : 500 W、RF 電力 : 500 W、T-S 間距離 : 170 mm
Ta ₂ O ₅ 膜成膜条件	Ar 流量 : 30 sccm、O ₂ 流量 : 11.6 sccm、マイクロ波電力 : 500 W、RF 電力 : 500 W、T-S 間距離 : 170 mm

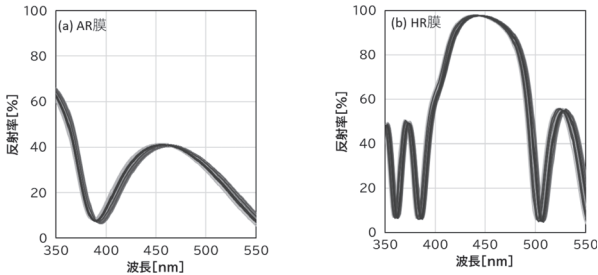


図 11 中心波長 450 nm 狙い反射率 (a) AR 膜、(b) HR 膜

図 11 に基板反転機構を用いて AR 膜と HR 膜を連続成膜した結果を示す。図 11 (a) は AR 膜、図 11 (b) は HR 膜の分光特性である。波長 450 nm における AR 膜の反射率のバラつきは $\pm 1.2\%$ であり、HR 膜の反射率のバラつきは $\pm 1.4\%$ であった。この結果から、再現性がよく AR 膜と HR 膜の成膜ができることが分かった。

7. 結 言

JSW アフティ社と共同で開発した基板反転および基板昇降機構を搭載したフォトニクスデバイス用 ECR スパッタ装置 (AFTEX-6500) の機能および成膜特性について紹介した。開発した基板昇降機構により、T-S 間距離とイオン電流密度、面内膜厚均一性を変化させることが可能であり、微細な膜厚制御ができた。また、基板反転機構を使用することで、真空中にて自動で基板反転ができるため、プロセス時間が短縮し、同時に省力化を実現した。

新規開発した本装置はフォトニクスデバイスメーカーに納品されており、今後とも顧客要望に応える装置として開発を進めていく。

参 考 文 献

- (1) Expected growth of EEL market, Source Edge Emitting Lasers report, Yole Intelligence (2022)
- (2) Edge Emitting Laser Global Market Report, The Business Research Company (2025)
- (3) S. Matsuo and M. Kiuchi: “Low Temperature Chemical Vapor Deposition Method Utilizing an Electron Cyclotron Resonance Plasma,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 22 (1983) No. 4A, pp. L210-L212
- (4) T. Ono, C. Takahashi and S. Matsuo: “Electron Cyclotron Resonance Plasma Deposition Technique Using Raw Material Supply by Sputtering,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 23 (1984) No. 8A, pp. L534-L536
- (5) 鳥居博典 他: “固体ソース ECR プラズマ装置の電子デバイス向け保護膜への応用”, 日本製鋼所技報, No. 66 (2015), pp. 142-148

- (6) 田中こずえ 他: “ ϕ 300 mm 基板対応固体ソースプラズマ成膜装置の開発”, 日本製鋼所技報, No. 69 (2018), pp. 82-87
- (7) K. Wakita and S. Matsuo: “Small Surface Damage Facet Coating on InGaAsP/InP Laser by ECR Plasma Deposition”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 23 (1984) No. 8A, pp. L556-L558
- (8) Y.J. Kim, R. Tateno, T. Ikura, K. Matsuda, H. Kawai, M. Suzuki, and K. Goto: “Electron Cyclotron Resonance (ECR) Spattered Antireflection Coatings on Laser Facets for Optical Memory Applications”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37 (1988) No. 4S, pp. 2201-2202
- (9) 寅丸雅光 他: “ECR-CVD 技術の開発”, 日本製鋼所技報, No. 74 (2023), pp. 66-72
- (10) T. Tsuchizawa, Y. Jin, and S. Matsuo: “Kinetic-energy measurement of a neutral stream extracted from Ar electron cyclotron resonance plasma”, Appl. Phys. Lett. Vol. 69 (1996) No. 2, pp. 149-151
- (11) 廣野滋 他: “電子磁気共鳴 (ECR) プラズマの SiC キャップアニール膜への応用”, 三井造船技報, No. 204 (2011-10), pp. 19-24
- (12) 天沢敬生 他: “固体ソース電子磁気共鳴 (ECR) プラズマを用いた LED 用インジウムスズ酸化膜 (ITO) 成膜装置”, 三井造船技報, No. 203 (2011), pp. 50-57
- (13) H. Nishimura, M. Kiuchi and S. Matsuo: "Processing Uniformity Improvement by Magnetic Field Distribution Control in Electron Cyclotron Resonance Plasma Chamber", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32 (1993) No. 1S, pp. 322-326
- (14) 吉田国雄 他: “高出力レーザ用薄膜の最近の進歩”, レーザ研究 Vol. 16 (1988) No. 1, pp. 3-13