

Minimální technické požadavky na HW a SW parametry sestavy a hodnocení **- VZ Spektroskopický elipsometr**

Předmětem plnění veřejné zakázky je dodávka přístroje pro experimenty v oblasti kvantových technologií – spektroskopického elipsometru (SE), pracujícího ve spektrálním oboru UV-VIS-NIR. Pořizovaný přístroj musí tvořit ucelený a funkční systém, který zajistí možnost měřit patřičné fyzikální jevy a musí se skládat minimálně z položek, jejichž bližší specifikace je uvedena v této příloze.

Sestava se musí skládat (povinné součásti sestavy) z Elipsometrických jednotek (světelný zdroj s polarizačními prvky a detekční jednotka s polarizačními prvky), Napájecího zdroje, Vyhodnocovací jednotky, PC sestavy, Software, Báze s motorizovaným goniometrem.

Součástí sestavy může být další příslušenství dle nabídky dodavatele, které je předmětem hodnocení (nepovinné součásti sestavy).

Parametry dodávaného spektroskopického elipsometru a funkcionalita ovládacího software musí splňovat vybrané minimální požadavky specifikované v příloze Minimální požadavky na HW parametry sestavy (Bod A.1) a Minimální požadavky na SW parametry sestavy (Bod A.2). Při splnění všech nutných podmínek potom hodnoty vybraných parametrů slouží jako další kritéria výběru viz tabulka Hodnotící kritéria (Bod B).

A.1 Minimální požadavky na HW parametry sestavy:

Parametr	Minimální požadovaná hodnota	Nabídka ÚZŘ ÚZŘ doplní u technických parametrů konkrétní nabízené hodnoty nebo v případě, že nejsou požadovány konkrétní hodnoty, uvede ANO/NE	Kontrola
Konkrétní nabízený typ a výrobce spektroskopického elipsometru	Identifikace typu a výrobce	Spektroskopický elipsometr M-2000V od J.A. Woollam Co., Inc.	
Spektrální rozsah měření a rozlišení (FWHM)	Rozsah 380 – 1000 nm Rozlišení < 6 nm	370 – 1000 nm Rozlišení < 5 nm	
Elipsometr je možné v budoucnu rozšířit do blízké infračervené oblasti (NIR), a to alespoň do 1650 nm.	ANO, uchazeč doplní rozsah	ANO, Rozšiřitelné do 1690 nm	
Celý spektrální rozsah je měřen jednou detekční jednotkou bez nutnosti výměny detektoru či manuálního přepínání.	ANO	ANO	
Systém umožňuje rychlé měření vzorku c-Si se záznamem celého spektra do 10 s při měření s požadovanou přesností měřených dat. Rychlejší měření je předmětem hodnocení.	ANO, < 10 s	ANO, < 5 s	
Elipsometr měří kompletní polarizační stav světla ve všech pozicích (i singulárních bodech dle fyzikální definice) po interakci se vzorkem, včetně depolarizace a anizotropie.	ANO, $\Delta: (0^\circ - 360^\circ)$ $\Psi: (0^\circ - 90^\circ)$	ANO, $\Delta: (0^\circ - 360^\circ)$ $\Psi: (0^\circ - 90^\circ)$	

Je požadována metoda měření s rotujícím nebo fixním kompenzátorem či podobnou technikou pro vysokou citlivost měření pro všechny polarizace. Musí být zaručena vysoká citlivost měření elipsometrických parametrů v celém oboru polarizačních stavů a v celém spektrálním oboru, tj. včetně singulárních bodů. Metoda měření bude předmětem hodnocení.	ANO, uchazeč doplní metodu	ANO, Měření s kontinuálně rotujícím kompenzátorem	
Přesnost měření veličin Psi, Delta v přímém průchodu vzduchem („straight-through“ konfigurace, kdy svazek prochází pouze vzduchem) min. $\Psi = 45^\circ \pm 0,15^\circ$ $\Delta = 0^\circ \pm 0,10^\circ$. Přesnost měření bude předmětem hodnocení.	ANO, $\Psi = 45^\circ \pm 0,15^\circ$ $\Delta = 0^\circ \pm 0,1^\circ$	ANO, $\Psi = 45^\circ \pm 0,075^\circ$ $\Delta = 0^\circ \pm 0,05^\circ$	
Elipsometr umožní měření Muellerovy matice (aspoň 11 prvků normované MM) v celém oboru polarizačních stavů v reflexním i transmisním módu jako funkci vlnové délky a případně úhlu dopadu.	ANO, 11 prvků MM	ANO, 11 prvků MM	
Součástí sestavy je báze s motorizovaným goniometrem Theta-2Theta v horizontálním uspořádání polohy vzorku. Rozsah goniometru min. $45^\circ - 90^\circ$ s kontinuální možností změny úhlu, s přesností nastavení úhlu lepší než $\pm 0,05^\circ$ a s opakovatelností nastavení polohy $\leq 0,005^\circ$.	ANO, Rozsah ($45^\circ - 90^\circ$) Přesnost $< 0,05^\circ$ Opakovatelnost $< 0,005^\circ$	ANO, Rozsah ($45^\circ - 90^\circ$) Přesnost $< 0,02^\circ$ Opakovatelnost $< 0,005^\circ$	
Držák vzorku (stolek) umožňující alespoň manuální nastavení roviny vzorku (naklápění v rovině povrchu vzorku a posuv ve směru kolmém na povrch vzorku). Automatické nastavení polohy vzorku bude předmětem hodnocení.	ANO	ANO	
Přesné nastavení polohy vzorku snímáno kvadrantovým detektorem nebo podobným systémem využívající signální svazek pro snadné najustování optimální polohy vzorku a nastavení úhlu dopadu s přesností minimálně $0,005^\circ$	ANO, $< 0,005^\circ$	ANO, $< 0,005^\circ$	
Systém umožňuje připojení fokusačních nástavců pro měření se zmenšenou stopou. Dodání nástavců je předmětem hodnocení. Příslušenství pro měření v mikrobodu bude snadno připojitelné ke stávající konfiguraci elipsometru a automaticky detekovatelné v softwaru.	ANO	ANO	
Možnost měření malých i velkých vzorků, rozsah velikostí:	alespoň 5 mm – 200 mm	ANO, < 5 mm až 300 mm	
Softwarové vybavení pro řízení a ovládání přístroje, nastavení parametrů měření, načítání dat i jejich následnou analýzu včetně jejich zpracování. V rámci dodávky jsou požadovány min. 4 licence SW pro jeho instalaci na dalších počítačích z hlediska možného zpracování dat nezávisle na měření. Software bude po dobu záruky upgradován bezplatně. Software umožní budoucí výměnu PC a upgrade operačního systému.	ANO	ANO, Software CompleteEASE se 6+1 licencemi (1 online, 6 offline)	
Řídící počítač s monitorem, potřebné manuály, spojovací kabely a pomůcky pro kalibraci systému	ANO	ANO	

A.2 Minimální požadavky na SW parametry sestavy:

Parametr	Minimální požadovaná hodnota	Nabídka ÚZŘ ÚZŘ doplní u technických parametrů konkrétní nabízené hodnoty nebo v případě, že nejsou požadovány konkrétní hodnoty, uvede ANO/NE	Kontrola
Automatickou kontrolu měření, včetně měření při více než jednom úhlu dopadu, měření v závislosti na čase	ANO	ANO	
Zpracování dat (Ψ a Δ) změřených v závislosti na vlnové délce, úhlu a čase: výpočet (nařítování) tloušťky a závislosti veličin n a k na vlnové délce; to vše pro každou z vrstev pokud je vzorek multivrstvou	ANO	ANO	
Implementaci gradientních vrstev, materiálů tvořených směsí několika složek v předem neznámém poměru, povrchových drsných vrstev, korekce plynoucí z transparentního substrátu	ANO	ANO	
Vyhodnocování jednoosé i dvouosé anizotropie s absorbuujícími i neabsorbujícími materiály, určování Eulerových úhlů	ANO	ANO	
Fitování pomocí B-Spline funkce	ANO	ANO	
Parametrické modelování s interaktivní modelem obecného oscilátoru, umožňující libovolnou kombinaci různých modelů oscilátoru (např. Gauss, Lorentz, Tauc-Lorentz, harmonický oscilátor, Tauc-Cody, a další)	ANO	ANO	
Modely pro vyhodnocování distribuce velikosti pórů u porézních vzorků (zejména anizotropní Bruggemannova a Lorentz-Lorenzova aproximace efektivního prostředí)	ANO	ANO	
Komplexní aproximaci pro automatizované hledání startovních hodnot parametrů	ANO	ANO	
Možnost simultánního fitování různých typů dat: Δ , Ψ , T, R, Eb, Er, Depolarizace, MM	ANO	ANO	

Simultánní analýzu vícero vzorků: možnost svázání parametrů z různých vzorků a různých modelů pro redukování korelace parametrů	ANO	ANO	
Dostupnost rozsáhlé databáze charakteristik známých materiálů a možnost přidávání vlastních materiálů do databáze.	ANO	ANO	
Možnost zobecněných elipsometrických měření, jako například vyhodnocení kompletní Jonesovy matice.	ANO	ANO	
Možnost generování automatických mapovacích úloh a vyhodnocení map homogenity vrstev.	ANO	ANO	

B. Kvalita nabízeného plnění pro účely hodnocení:

	Technické parametry	Váha parametru	Požadovaná hodnota	Nabídka ÚZŘ ÚZŘ doplní u technických parametrů konkrétní nabízené hodnoty nebo v případě, že nejsou požadovány konkrétní hodnoty, uvede ANO/NE	Kontrola
1.	Metoda měření s kontinuálně rotujícím kompenzátorem pro dosažení vysoké citlivosti měření ve všech polarizačních stavech (vč. depolarizace), při vysoké rychlosti měření.	25 b.	ANO	ANO	
2.	Plně motorizovaná horizontální (XY) translace vzorku s rozsahem alespoň 100 mm × 100 mm se softwarovým zpracováním map elipsometrických dat.	20 b.	ANO	ANO, Rozsah 100 mm × 100 mm	
3.	Rychlost SE měření se záznamem celého spektrálního rozsahu.	20 b.	< 100 ms	~ 50 ms	
4.	Přesnost měření v přímém průchodu vzduchem po dobu max 10 s, při sejmutí celého spektra (pro splnění musí platit alespoň pro 95 % vlnových délek)	15 b.	$\Psi = 45^\circ \pm 0.075$ $\Delta = 0^\circ \pm 0.05$	$\Psi = 45^\circ \pm 0,075^\circ$ $\Delta = 0^\circ \pm 0,05^\circ$	
5.	Automatické nastavení výškové polohy vzorku (osa Z) s rozsahem justáže alespoň 15 mm.	5 b.	ANO	ANO, 18 mm	
6.	Alespoň 6 offline licencí pro vyhodnocování elipsometrických dat.	5 b.	ANO	ANO	
7.	Konfigurace pro měření s mikrofokusací. Velikost stopy na vzorku po fokusaci < 300 μm.	5 b.	ANO	ANO	
8.	Odnímatelný držák vzorku pro měření v transmisním režimu s upínáním ve vertikální poloze vzorku.	3 b.	ANO	NE	
9.	Poukaz na online kurz vyhodnocování elipsometrických dat v rozsahu min. 8 hodin	2 b.	ANO	ANO	

Technický popis zařízení:

Jedná se o spektrální elipsometr s variabilním úhlem měření, model M2000 od světové firmy J.A. Woollam. Nabízený systém má mnohostranné použití a je ideálním nástrojem pro studium vlastností většiny materiálů, je vhodný pro výzkum nanostruktur, povrchů a tenkých vrstev, detekování povrchových fázových přechodů, měření koncentrací volných nositelů nábojů, molekulárních vazeb, zajišťuje možnost výzkumu pásové struktury (včetně kritických bodů), možnost nedestruktivního výzkumu profilu indexu lomu v super-tenkých vrstvách, výzkum biomateriálů a biopovrchů a další aplikace. Elipsometr umožní automatická měření při proměnném úhlu dopadu, přesné a snadné nastavení roviny vzorku a úhlu dopadu, měření malých vzorků, rychlé měření spekter v rozsahu jednotek až desítky sekund.

Technické parametry zařízení:

Elipsometrická část systému:

1. Spektrální rozsah měření: 370 – 1000 nm při spektrálním vzorkování 1,6 nm (odpovídá rozlišení ~ 5 nm)
2. Spektrální detekce je na bázi multikanálového CCD detektoru pro rychlý záznam celého spektra v jednom okamžiku (390 kanálů)
3. Systém umožní rychlé měření – pro c-Si vzorek doba měření kompletních spekter všech komponent Muellerovy matice maximálně do jednotek sekund, jedná se o spektrální elipsometr s rotujícím kompenzátorem a CCD detekčním členem na výstupu, kdy je celé spektrum zaznamenáno v jediném okamžiku. Rychlost měření je zde dána rotací kompenzátoru, což zaručuje rychlost měření v rozsahu 1-5 s (při optimálním poměru signál/šum). Minimální čas pro záznam celého spektra pro dynamická měření je cca 0,05 s.
4. Elipsometr umožňuje současné měření elipsometrických dat všech polarizačních stavů (Psi a Delta) ve všech pozicích (i singulárních bodech dle fyzikální definice) po interakci se vzorkem včetně depolarizace, obecné elipsometrie (anizotropie) a měří Muellerovu matici (11 prvků MM) v celém oboru polarizačních stavů v reflexním i transmisním módu jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu.
5. Jedná se o modulační metodu PCSA (Polarizer-Compesator-Sample-Analyzer) s kontinuálně rotujícím kompenzátorem. Daná konfigurace zajišťuje vysokou citlivost měření v celém oboru polarizačních stavů a v celém spektrálním oboru: rotující kompenzátor optimalizuje citlivost pro všechny polarizace, tedy i pro lineární polarizaci (Delta = 0° nebo 180°). Bez tohoto není možné měřit singulární body (např. sklo nebo sklo s tenkou vrstvou, nebo Si wafer), přitom je Delta parametrem důležitým pro měření velmi tenkých vrstev. Měří Delta v celém rozsahu 0-360°, což dovoluje separaci mezi pravotočivou či levotočivou polarizací a tím i určení indexu lomu tenké vrstvy oproti substrátu (nižší index lomu než substrát či vyšší index lomu vrstvy oproti substrátu), eliminuje singulární body u Psi. Díky rotaci kompenzátoru je zaručené přesné měření Psi a Delta v celém

rozsahu. Přínosem je také vysoká přesnost při měření depolarizace, při obecné elipsometrii (anizotropii), pro Muellerovu matici různých úhlů dopadu.

6. Přesnost měření veličin Psi a Delta v přímém průchodu vzduchem („straight-through“ konfigurace), svazek prochází pouze vzduchem:

- Psi = $45^\circ \pm 0.075^\circ$

- Delta = $0^\circ \pm 0.05^\circ$

Tyto hodnoty jsou dosti konzervativní a přístrojem lze dosáhnout i lepších hodnot. Měření probíhá při průměrování po dobu 10 s maximálně, při sejmutí celého spektra (s počtem minimálně 475 vlnových délek). Dané hodnoty lze demonstrovat v průběhu instalace a prokázat tak kvalitu přístroje.

7. Elipsometr měří 11 prvků normované Muellerovy matice v celém oboru polarizačních stavů v reflexním i transmisním módu jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu
8. Elipsometr měří depolarizaci a anizotropii vzorku
9. Je zde možnost měření reflexní i transmisní elipsometrie, elipsometr nabízí horizontální uspořádání s goniometrem Theta-2Theta, pro transmisní měření lze zakoupit v rámci příslušenství nástavec s variabilním úhlem nastavení pro plnohodnotné měření v transmisním módu.

Parametry mechanické části systému:

1. Jedná se o elipsometr s variabilním úhlem měření, úhel dopadu je plně automaticky nastavitelný, a to v rozsahu $45^\circ - 90^\circ$ a s přesností nastavení lepší než $0,02^\circ$. Jinak jde o klasický goniometr Theta-2Theta, goniometr je motoricky nastavitelný.
2. Pro zajištění přesné polohy a najustování vzorku slouží kvadrantový detektor. Přesná poloha vzorku je zajištěna jeho justáží – naklápěním v x-y a posuvem v ose z. Pro přesné nastavení polohy slouží integrovaný kvadrantový detektor s citlivostí $0,001^\circ$, který je umístěn v optické dráze. Tato metoda zajistí tedy přesnost polohy vždy, na rozdíl od metody, kdy se vkládá separátní jednotka autokolimátoru. Vkládáním a vyjímáním autokolimátoru není totiž zajištěna přesná poloha, a navíc, pokud je jednotka autokolimátoru rozjustovaná sama o sobě, dojde k nepřesnému nastavení polohy. Použití kvadrantového detektoru je velmi jednoduchá a přesná metoda díky softwarovému zobrazení na displeji. Je umístěn přímo na rameni goniometru a je jeho součástí (nejde o odnímatelný prvek), takže garantuje vždy správnou polohu vzorku.
3. Držák vzorku (stolek) umožňující nastavení polohy vzorku (naklápění v rovině povrchu vzorku a posun ve směru kolmém na povrch vzorku) je součástí sestavy, půjde o stolek s motorizovaným posuvem a ručním naklápěním.
4. Vlastní nastavení pozice vzorku a optimalizace jeho polohy pro vlastní měření je dáno jeho naklápěním a posuvem v ose z
5. Systém je vybaven motorizovaným XY translačním stolcem, minimální krok posunu je $2,5 \mu\text{m}$.
8. Sestava nabízí možnost měření malých i velkých vzorků v rozsahu minimálně od 5 mm do 300 mm

Software

Softwarové vybavení zajišťuje řízení a ovládání přístroje, nastavení parametrů měření, načítání dat i jejich následnou analýzu včetně jejich zpracování. Je včetně didaktického layoutu usnadňující práci laickému uživateli. Daný software nabízí celou škálu modelů a přístupů pro transmisní i reflexní elipsometrická data, možnosti jejich analýzy, jde o komplexní a výkonný nástroj v oblasti elipsometrických měření. Uživateli umožňuje využít nejen dostupné modely, ale také vytvoření vlastních modelů na základě uživatelem definovaných vrstev a jejich disperzní závislosti.

Softwarové vybavení umožňuje měření transmisních a reflexních spekter, úhlové závislosti intensity rozptylu světla, depolarizace a optické anizotropie (s libovolnou orientací optických os), lze určovat drsnosti povrchů a rozhraní, lze provádět měření průběhu optických konstant a řadu dalších vlastností. Vše je podrobně uvedeno v popisu softwaru dále. Software zajistí zpracování elipsometrických spekter (včetně prvků Muellerovy matice) spolu s měřením intenzity spekter v reflexním a transmisním módu.

Daný systém umožní:

- automatickou kontrolu měření, včetně měření při více než jednom úhlu, měření v závislosti na čase, měření nejméně 11 prvků Muellerovy matice, měření depolarizace
- zpracování dat (Psi a Delta) změřených v závislosti na vlnové délce, úhlu a čase: výpočet (nafitování) závislostí veličin n a k na vlnové délce a tloušťky; to vše pro každou z vrstev, pokud je vzorek multivrstvou implementaci gradientních vrstev, materiálů tvořených směsí několika složek v předem neznámém poměru, povrchových drsných vrstev, korekce plynoucí z transparentního substrátu, "multiple sample analysis"
- dostupnost rozsáhlé databáze disperzních oscilačních modelů včetně Cauchy, "classical" absorption (Drude, Lorentz), Tauc-Lorentz, Cody-Lorentz (Tauc-Lorentz-Urbach), "Gaussian absorption" oscilátory; fitování všech parametrů podle těchto modelů;
- dostupnost rozsáhlé databáze charakteristik známých materiálů
- kombinace všeho výše uvedeného v jednom optickém modelu a mnoho dalších funkcí

Dodatečné licence: V rámci nabízeného systému bude dodáno celkem 5 licencí pro sw CompleteEASE. Přídavné licence na software lze využít pro jeho instalaci na dalších počítačích z hlediska možného zpracování dat nezávisle na měření.

Detailní popis softwaru CompleteEASE

Software CompleteEASE nabízí celou škálu modelů a přístupů pro transmisní i reflexní elipsometrická data, možnosti jejich analýzy, jde o komplexní a výkonný nástroj v oblasti elipsometrických měření. Uživateli umožňuje využít nejen dostupné modely, ale také vytvoření vlastních modelů na základě uživatelem definovaných vrstev a jejich disperzní závislosti. Pět licencí na sw CompleteEASE bude součástí dodávky. Uživatel ho bude moci využít ať už pro vlastní měření nebo separátně na dalším PC pro analýzu a vyhodnocení naměřených dat.

Software umožňuje plnohodnotné načítání dat v různých režimech:

- standardní parametry elipsometrie Psi a Delta v reflexním či transmisním módu jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu a času

- statická data (ex situ měření), dynamická data (in situ aplikace jako růst vrstev, depozice, leptání, atd.)
- Jonesovu matici v reflexním i transmisním módu jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu
- Muellerovu matici v reflexním i transmisním módu jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu
- ATR měření jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu
- depolarizační měření jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu
- měření intenzity prostupu či odrazu jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu a času
- měření anizotropních materiálů jako funkci vlnové délky a úhlu dopadu a času
- možnost provádět korekce pro případ měření vrstev na transparentním substrátu, opačné měření vrstvy ze strany průhledného substrátu atd.
- možnost externího řízení elipsometru přes jiné zařízení, jehož součástí elipsometr je

Software zahrnuje funkce pro kompletní analýzu získaných dat:

- vyhodnocení anizotropie opticky jednoosých i dvouosých materiálů s absorpcí či bez, určení Eulerova úhlu
- parametrické modelování s interaktivními modely, které dovoluje kombinovat různé druhy oscilátorů snadným ovládáním přes myš, jako např. Gauss, Lorentz, Tauc-Lorentz, Tauc-Cody atd., dostupné modely jsou uvedeny podrobně dále
- komplexní aproximaci pro automatizované hledání startovních hodnot parametrů
- analýzu pro zadní zpětnou reflexi
- analýzu pro měření z opačné strany
- možnost stanovení tloušťky měřeného vzorku
- analýzu pro ATR konfiguraci
- statistické vyhodnocení
- paralelní aproximaci různých parametrů: psi, delta, odrazivost, propustnost, depolarizaci, Muellerovu matici různých úhlů dopadu...
- vícenásobnou analýzu vzorků při současném užití různých modelů na různá měření několika vzorků
- povrchy tekutých krystalů
- celá řada dalších funkcí jako spojování několika parametrů (např. tloušťka 1 = tloušťka 2 + konstanta atd.), minimální či maximální meze parametrů, specifické fitace, vlivy nerovnoměrnosti tloušťky vrstvy nebo zpětných odrazů, růst vrstev při in-situ měřeních, eliminace vlivu okének, teplotních či kapalinových cel atd.

Dostupné modely:

- jednoduchá vrstva – s absorpcí nebo bez absorpce
- vícevrstvá struktura – použití teorie EMA, 2-3 složky dle EMA, Bruggemam nebo Maxwell-Garnett
- uživatelem definovaná vrstva – definovaná disperzní závislost
- stupňované kompozitní vrstvy – změna kompozitu jako funkce hloubky
- strukturované vrstvy
- vícevrstvá struktura na přední či zadní části substrátu – jedné nebo druhé části nebo obou
- povrchové drsné struktury – použití teorie EMA
- meziplošné drsné struktury – použití teorie EMA
- slitinové materiály typu $Al_xGa_{1-x}As$, $Hg_xCd_{1-x}Te$, Si_xGe_{1-x} , SiO_xN_y , atd.
- vrstvy s nerovnoměrnou tloušťkou – lze aplikovat na všechny uvedené modely
- mřížkové struktury – kombinace opakovaného počtu výše uvedených vrstev

- anizotropní vrstvy a materiály s orientovanou optickou osou: kolmo na povrch vzorku, v rovině vzorku (zde jsou možnosti typu kolmo na rovinu dopadu, paralelně s rovinou dopadu nebo v libovolném úhlu k rovině dopadu), případně v libovolném úhlu k rovině dopadu při obecně orientované optické ose.
- povrchy tekutých krystalů
- analýza mnohočetných vzorků – fitace optické konstanty materiálu mnohočetných vzorků se stejnými vrstvami rozdílné tloušťky.

Fitace parametrů:

- jednovrstvé struktury: tloušťka, index lomu, koef. extinkce
- vícevrstvé struktury: tloušťka, index lomu, koef. extinkce
- disperzní modely pro příslušné materiály
- obecné oscilační modely pro kombinaci různých typů oscilace:
 - Amorfni dielektrika / polovodiče (a-Si, SiON, Si₃N₄.), kovy (Al, Ti, Ta, Au.), databáze více než 550 materiálů dělená na dielektrika, kovy, polovodiče a speciální materiály.
 - Cauchy: standardní Cauchy s Urbach absorpcí
 - Sellmeier & Pole oscilátor
 - ϵ_1 Offset
 - Lorentz oscilátor
 - Tanguy oscilátor
 - Ionic1 & Inonic2: absorpce fotonů
 - TOLO: faktorizovaný model pro absorpci fotonů
 - Drude, rho-tau Drude & N-mu Drude: nulová rezonanční energie Lorentz oscilátoru
 - Tauc-Lorentz & Egap Tauc-Lorentz: Tauc-Lorentz modely pro amorfni materiály
 - Harmonické oscilátory
 - Gaussian absorpční model
 - Gauss-Lorentz: Gaussian-Lorentz absorpční kombinační model
 - GLAD: Gaussian-Lorentz Asymmetric Doublet oscilátor
 - Psemi-EO: parameterized semiconductor oscilátor
 - CPPB: Critical Point Parabolic Band oscilátor pro polovodiče
 - CPM0, CPM1, CPM2 & CPM3: Adachi model pro kritické body funkce M0, M1, M2, & M3
 - Cody-Lorentz oscilátor
 - Lorentz-PB & Lorentz-LB oscilátor
 - Krystalické polovodiče
 - uživatelem definovaný disperzní model
 - intuitivní grafické zobrazení hodnot na základě hodnot vstupních parametrů
 - možnost fitovat disperzní model na referenční materiál
 - stupňování: několik stupňovaných vrstev
 - funkce pro nerovnoměrnou tloušťku vrstvy
 - statistické vyhodnocení: měření odchylky, váhy, parametru korelace, 90% splnění limitu atd.
 - řada dalších možností, jako EMA funkce (Bruggeman, Maxwell-Garnett) do 3 složek
- stupňované kompozitní vrstvy: tloušťka, profil vs. hloubka (lineární, triangulární, sinusoidální, libovolně uživatelem definovaný, stupňovaný, ...)
- povrchové drsné struktury: tloušťka, prostý poměr
- meziplošné drsné struktury: tloušťka, poměr složek
- slitinové materiály: tloušťka, poměr složek

- anizotropní vrstvy: tloušťka, n a k v rovině dopadu, mimo rovinu dopadu, v libovolné pozici k rovině dopadu, Eulerův úhel
- teplota
- nerovnoměrnost tloušťky
- úhel dopadu
- vliv zpětných odrazů u transparentních materiálů

Kromě toho sw nabízí pokročilé funkce v rámci fitace jako spojování několika parametrů (např. tloušťka 1 = tloušťka 2 + konstanta atd.), minimální či maximální meze parametrů, specifické fitace, vlivy nerovnoměrnosti tloušťky vrstvy nebo zpětných odrazů, růst vrstev při in-situ měřeních atd.

Přednosti nabízené sestavy:

- **Metoda s rotujícím kompenzátorem:** optimalizuje citlivost pro všechny stavy polarizace, tedy i pro lineární polarizaci ($\Delta = 0^\circ$ nebo 180°), bez tohoto není možné měřit singulární body (např. sklo nebo sklo s tenkou vrstvou, nebo Si wafer), přitom je Δ parametrem důležitým pro měření velmi tenkých vrstev. Měří Δ v celém rozsahu $0-360^\circ$, což dovoluje separaci mezi pravotočivou či levotočivou polarizací, eliminuje singulární body u Ψ . Díky tomu je zaručené přesné měření Ψ a Δ v celém rozsahu. Přínosem je také vysoká přesnost při měření depolarizace, při obecné elipsometrii, pro Muellerovu matici různých úhlů dopadu.
- **CCD detektor pro UV-VIS oblast:** má mnohem lepší dynamický rozsah než diodová řada, větší citlivost, dokáže rozlišit 500 vlnových délek s rozlišením 1,6 nm v UV/VIS. Zajišťuje vysokou rychlost měření 1-5 s.
- **Goniometr pro změnu úhlu dopadu:** goniometr zaručuje přesné polohování a synchronizaci obou ramen současně a tím je zajišťuje vysokou opakovatelnost a přesnost nastavení úhlu dopadu.
- **Integrovaný kvadrantový detektor** pro přesné nastavení polohy vzorku (naklápění v x-y a posuv v ose z) s citlivostí $0,001^\circ$ úhlu dopadu. Velmi jednoduchá a přesná metoda díky softwarovému zobrazení na displeji. Je umístěn přímo na rameni goniometru a je jeho součástí (nejde o odnímatelný prvek), takže garantuje vždy správnou polohu vzorku.
- **Modulární systém:** spočívá ve velmi široké nabídce konfigurací a dalšího příslušenství.
- **Široká škála možností měření:** od obecných elipsometrických měření, až po anisotropii, měření depolarizace atd.
- **Ověřený produkt** – v oblasti elipsometrických aplikací je značka Woollam považována za měřicí standard. Firma Woollam má širokou základnu zákazníků v průmyslu i vědě a stovky instalací. Systém je tedy odzkoušený trhem a lze garantovat, že 100 % splní požadavky této aplikace. Naše reference jsou uvedeny dále v textu.
- **Vlastní CompleteEASE software** pro načítání dat i jejich následnou analýzu. Software nabízí celou škálu modelů a přístupů pro transmisní i reflexní elipsometrická data, možnosti jejich analýzy, jde o komplexní a výkonný nástroj v oblasti elipsometrických měření. Software je neustále zdokonalován s ohledem na zpětnou vazbu od zákazníků a s ohledem na požadavky trhu.

Firma QD-Europe obecně nabízí také zákaznická školení u nich v aplikační laboratoři. Jde o detailní proškolení v používání softwaru, praktické ukázky, použití sw v základních i pokročilých aplikacích, a to u nich v aplikační laboratoři v Darmstadtu na reálném systému. Toto je vhodné provést po počátečním používání elipsometru a seznámení se obsluhy se softwarem, kdy se nasbírají základní poznatky o funkcích softwaru a je možné přistoupit k pokročilým aplikacím ve smyslu definování modelu, použití fitace atd. Další možnou nabídkou je návštěva některého semináře s oficiálním školením na software.

Reference:

Firma OptiXs, s.r.o. je zástupcem výrobce spektrálního elipsometru VASE, firmy J.A.Woollam, Co (prostřednictvím evropské centrály pro prodej a servis – firmy QD-Europe GmbH).

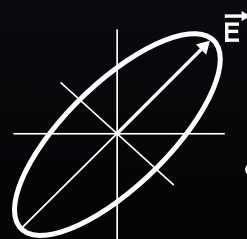
V České a Slovenské republice bylo instalováno celkem přes 20 spektrálních elipsometrů firmy Woollam:

- **VUV-VASE elipsometr s kryostatem** (Dr. Dejneka, Fyzikální ústav AVČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8)
- **DUV-VASE elipsometr s kryostatem** (Dr. Dejneka, Fyzikální ústav AVČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8)
- **DUV-VASE elipsometr** (Dr. Mistrík, Univerzita Pardubice, Studentská 84, 532 10 Pardubice)
- **DUV-VASE elipsometr** (Dr. Dubroka, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno)
- **VASE elipsometr** (Prof. Wágner, Univerzita Pardubice, Nám. Čs. Legií 565, 532 10 Pardubice)
- **VASE elipsometr** (Doc. Rusňák, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň)
- **VASE elipsometr** (Dr. Němec, Univerzita Pardubice, Studentská 84, 532 10 Pardubice)
- **IR-VASE elipsometr** (Dr. Němec, Univerzita Pardubice, Studentská 84, 532 10 Pardubice)
- **IR-VASE elipsometr** (Dr. Franta, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno)
- **IR-VASE elipsometr** (Dr. Dubroka, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno)
- **IR-VASE elipsometr** (Dr. Lančok, Fyzikální ústav AVČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8)
- **M2000-DI elipsometr pro ex-situ a in-situ** (Prof. Biederman, MFF UK, V Holešovičkách 2, Praha 8, 180 00)
- **M2000-U elipsometr pro in-situ** (Dr. Bulíř, Fyzikální ústav AVČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8)
- **M2000-V elipsometr pro in-situ** (Dr. Šiffalovič, Fyzikální ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava)

- **M2000-X elipsometr pro in-situ** (Prof. Moravčík, STU, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Paulínska 16, 917 24 Trnava)
- **M2000-V elipsometr pro in-situ** (Dr. Grančíč, Univerzita Komenského, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava)
- **M2000-X elipsometr** (Ing. Ognen Pop-Georgievski Ph.D., Ústav makromolekulární chemie AVČR, Heyrovského nám 2, Praha 6)
- **AlphaSE elipsometr** (Ing. Petr Slepíčka, VŠCHT, Praha 6)
- **RC2 elipsometr** (Dr. Postava, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba)
- **RC2 elipsometr** (Dr. Veis, MFF UK, Ke Karlovu 5, 121 16, Praha 2)
- **M2000-DI** (Dr. Holovský, FEL ČVUT)
- **M2000-XI ex situ** elipsometr (Dr. Straňák, JU ČB)
- **M2000-X** elipsometr pro *in situ* i *ex situ* (Dr. Bulíř, FZÚ AVČR)

V případě zájmu můžeme dodat detailní informace k poskytnutým referencím.

CompleteEASE



J.A. Woollam

Ellipsometry Solutions



E ↑

Powerful

Overview

J.A. Woollam began software development for automated ellipsometry measurements in the 1980s. Over the years, our software has continued to evolve with advancements in our field, improvements in computing power, and feedback from our customers. CompleteEASE is the culmination of 35 years of ellipsometry experience and software development.

Industry Leading Software

+Powerful

A comprehensive software platform for data acquisition and model development custom designed for use with J.A. Woollam ellipsometers, CompleteEASE provides the most functional and intuitive interface for data analysis and reporting of results.

+Intuitive

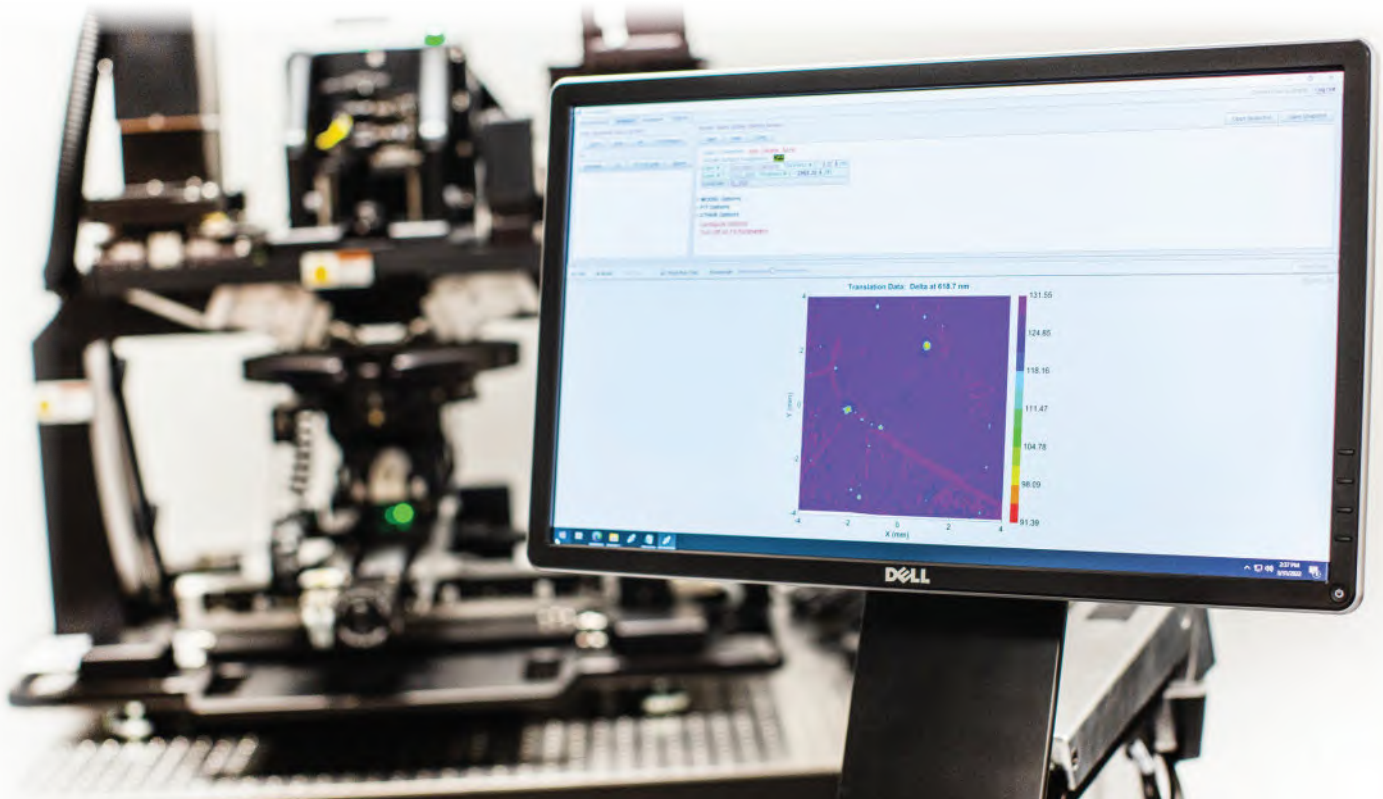
CompleteEASE features a variety of analysis tools to assist in model development. Our thickness pre-fit and global-fit algorithms automate thickness and refractive index determination for transparent films. We recently automated our patented B-Spline model to determine optical properties in absorbing regions with a single mouse click.

+Fully Integrated

CompleteEASE automatically detects hardware configuration changes to seamlessly transition between focusing optics, liquid cells, heat cells, and others. Integrated support for mapping stages, camera, pattern recognition, and comprehensive graphing tools to display results are all standard features of CompleteEASE. CompleteEASE also features an API to enable custom communication and real-time feedback control.

+Fast

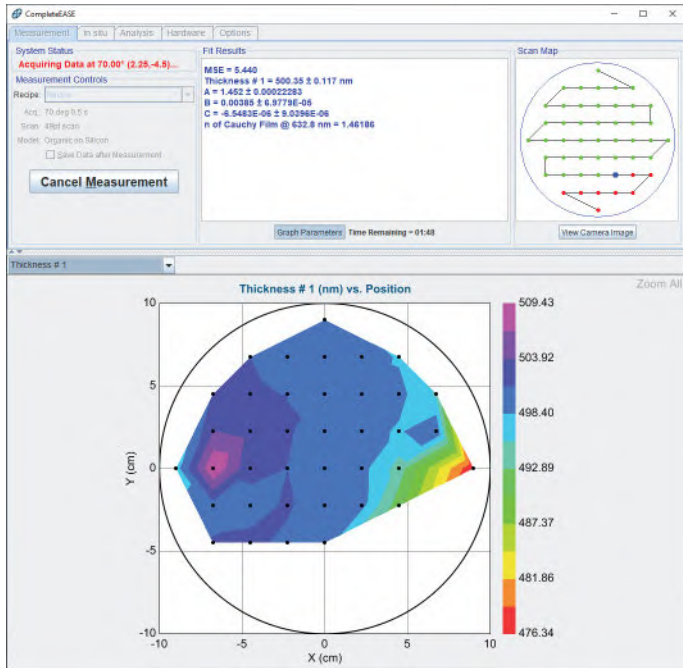
The Levenberg-Marquardt regression algorithm has been optimized to provide the fastest possible model fit to raw data, including compatibility with multi-core processing. This is especially useful for the analysis of complex absorbing samples and real-time characterization of thin films where the data is analyzed as the measurements are acquired.



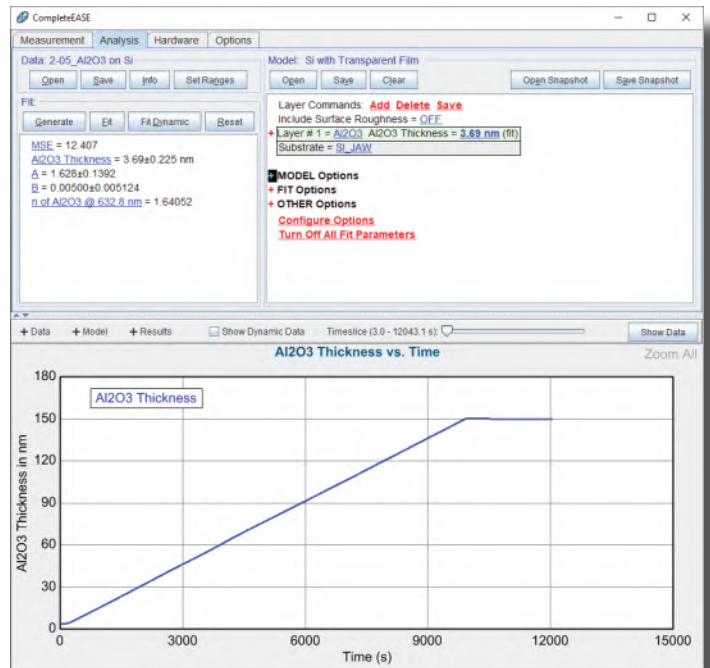
Data Acquisition

Versatile Measurements

CompleteEASE is an all-inclusive software package to handle all your ellipsometry requirements. Conveniently measure the uniformity of your samples with automated sample mapping. Use spectroscopic ellipsometry to collect in-situ data on your process chamber or with accessories like our Environment Cell or temperature-control stages. All your data acquisition needs are combined into one easy-to-use software package.



Film thickness, optical properties, and derived parameters can be viewed in real time during mapping measurements.



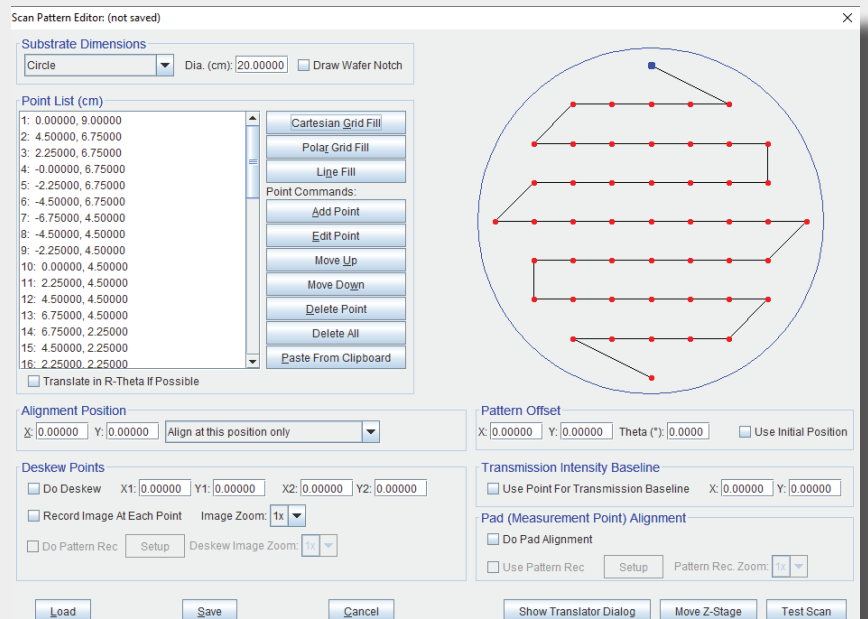
In-situ ellipsometry is routinely used to monitor growth or etch of thin films and can be implemented for real-time feedback control.

Convenient Recipes

Create recipes to collect data, automate mapping, and analyze your samples—all contained in one step. Convenience and simplicity combine for push-button operation.

The scan pattern editor in CompleteEASE is used to define the measurement positions for recipes. Positions can be easily defined in cartesian or polar coordinates. If specific locations are required, the coordinates can be directly loaded into CompleteEASE through the scan pattern editor.

Combining scan patterns with pre-built models enables automated measurement and analysis with results reported in real time as the sample is measured. Once completed, statistics are provided, and contour plots enable easy visualization of the sample properties.



Advanced Features

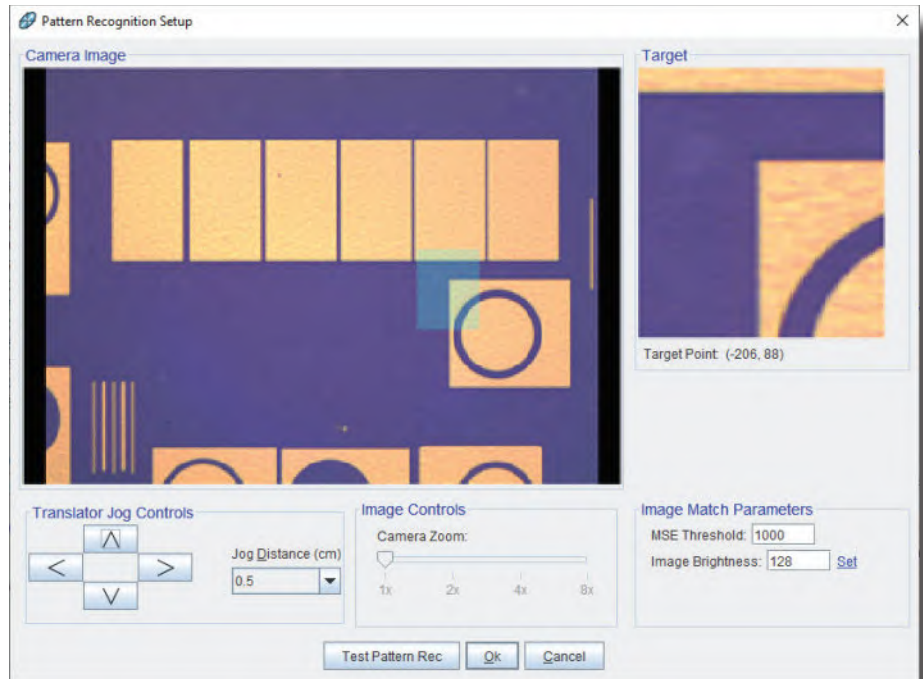
Pattern Recognition

Deskew and Pattern Recognition are features in CompleteEASE designed to accurately locate measurement positions. Deskew corrects rotation, offset, and slight scaling to match the sample coordinates with the stage coordinates.

Pattern Recognition uses machine-vision image recognition to locate small features or pads to ensure measurements are consistently collected within the intended area.

System Requirements:

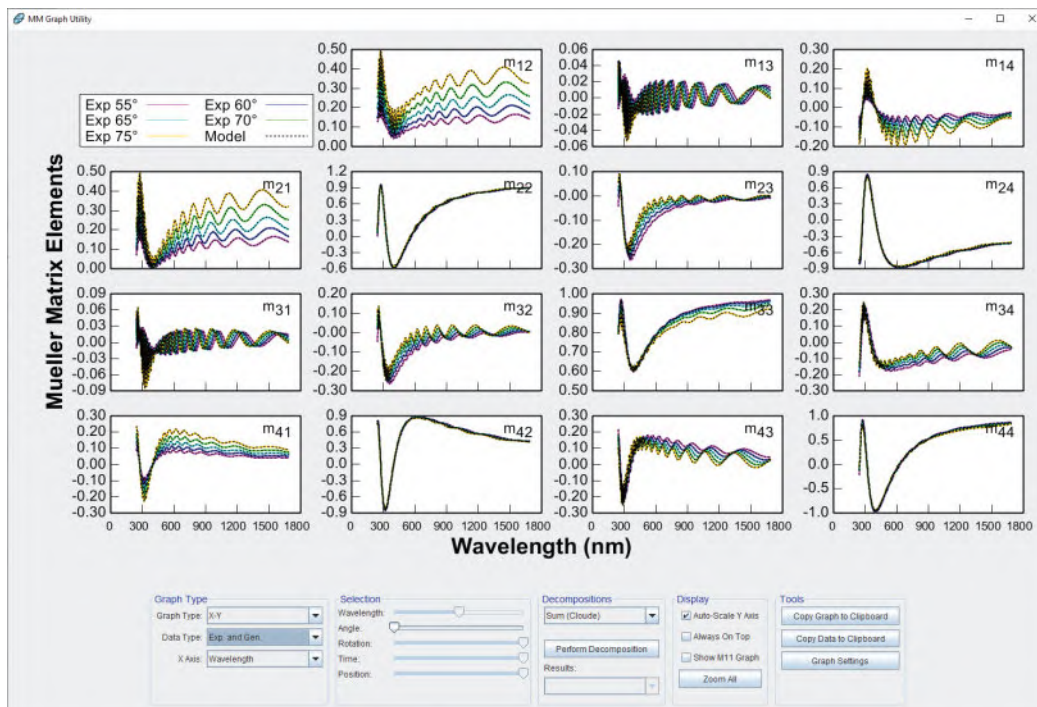
- +Automated Translation
- +Focusing Probes
- +Lookdown Camera
- +Visible repeated features on sample



Mueller Matrix Measurement and Analysis

Mueller matrix measurements provide the most complete description of the dielectric response of a sample upon interaction with a light source. All J.A. Woollam ellipsometers are capable of collecting Mueller matrix data from a sample. CompleteEASE is not only the engine behind accurate data acquisition, it provides intuitive graphing and analysis tools that help you get the most out of your measurements.

Viewing the entire Mueller matrix allows access to different polarization effects in advanced samples, including diattenuation and polarizance. The Mueller matrix Graph Utility, shown below, is a graphing and visualization window that enables users to easily view measured and modeled Mueller matrix data. The Graph Utility also enables users to perform decompositions on Mueller matrix data. Mueller matrix decompositions provide an alternate approach for extracting information from the Mueller matrix and can be especially useful when measuring highly complex samples.



Absorbing Materials

Absorptions in materials can be caused by electronic transitions, lattice vibrations, and free carrier absorptions, among other things. The nature of absorption resonances vary by material and are dependent on a variety of factors. For this reason, mathematical descriptions for absorbing materials are traditionally more complex. CompleteEASE features multiple tools for modeling absorbing films easily and efficiently.

Gen-Osc

The General Oscillator layer, or Gen-Osc, was developed to simplify the modeling of material optical constants. The Gen-Osc layer models the dielectric function of a material as a linear summation of wavelength-dependent oscillators.

The oscillators described mathematically in the Gen-Osc layer represent the dipole response of the material and can be used to describe comparable physical parameters, such as band gap.

CompleteEASE provides a convenient Gen-Osc parameterization layer which helps to define the initial starting values of each oscillator in the model.

Build your own oscillators using the parameterization window, beginning with a number of built-in functions, including:

- + Lorentz
- + Tauc-Lorentz
- + Gaussian
- + Cody-Lorentz
- + Harmonic
- + Tanguy
- + Drude
- + PSEMI

B-Spline

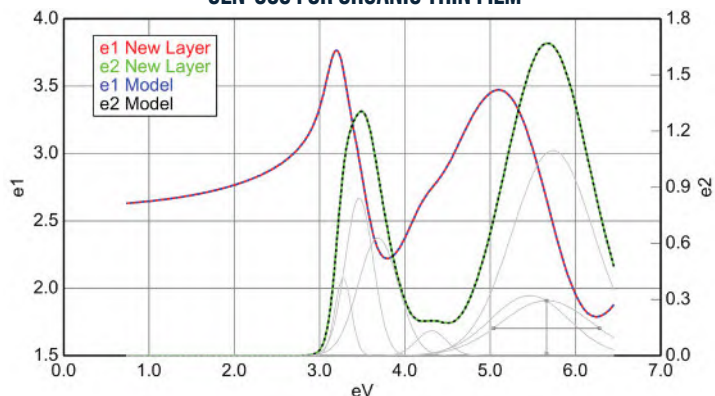
The B-Spline layer was developed in CompleteEASE as an alternative to direct data inversion or oscillator models and has revolutionized optical modeling of semi-absorbing materials. The B-Spline has the following benefits:

- +Reduced number of fit parameters
- +Complete flexibility in optical constants for any material
- +No guesswork about where to place oscillators and what type to choose

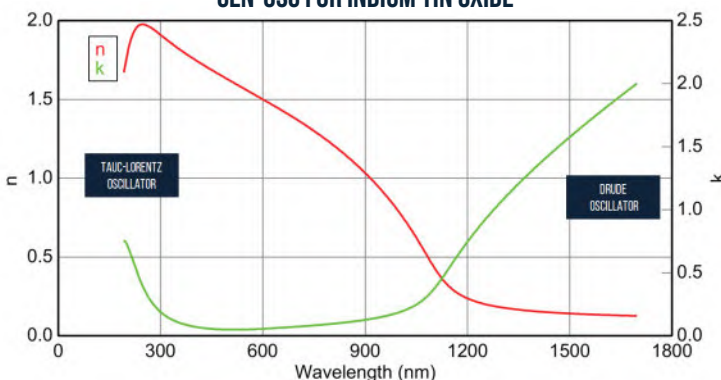
The B-Spline is especially useful for describing complex dispersion shapes in a physical manner.

The latest versions of CompleteEASE feature an automated B-Spline feature which enables users to determine the optical properties of semi-absorbing materials with just a few clicks without the need of background information on the material or a reference file.

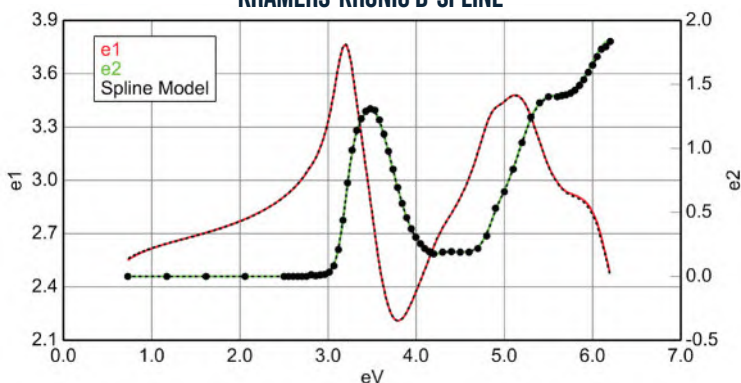
GEN-OSC FOR ORGANIC THIN FILM



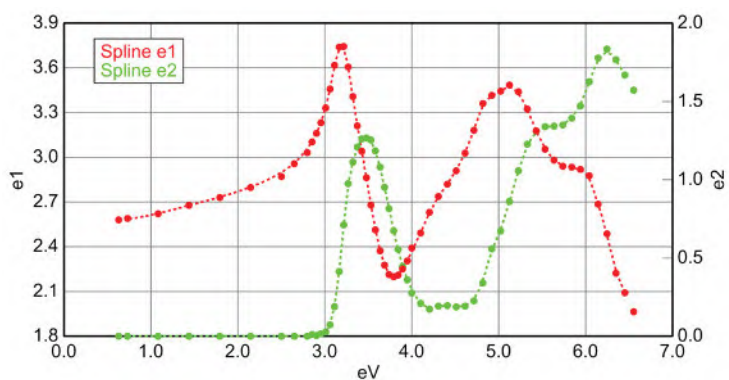
GEN-OSC FOR INDIUM TIN OXIDE



KRAMERS-KRONIG B-SPLINE



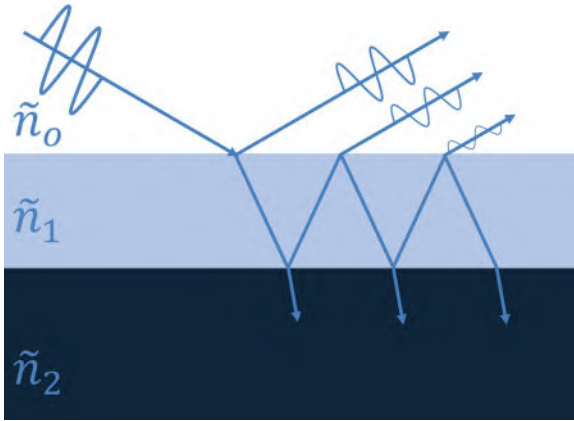
B-SPLINE MATCHED TO ORGANIC FILM



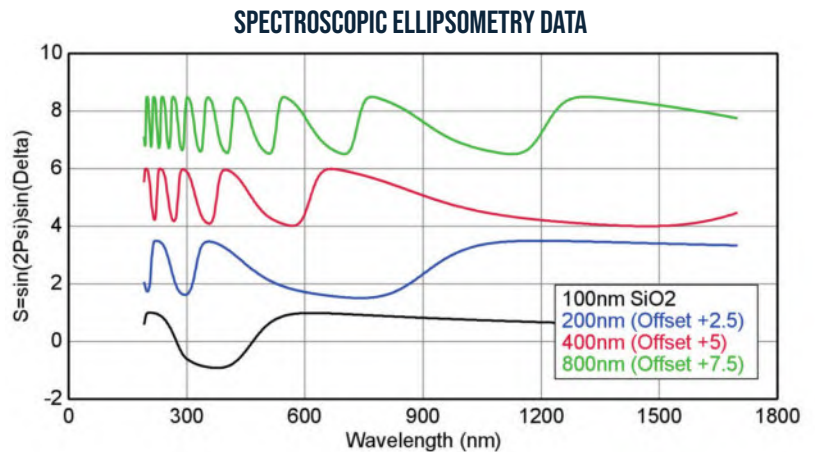
Automated Modeling Features

Thickness Pre-fit

Ellipsometry takes advantage of the coherent nature of light to determine thickness of thin films. Light interacts with the various interfaces within the film stack and eventually recombines with the initial surface reflection causing constructive or destructive interference in the detected signal.



Light propagating through a transparent film provides sensitivity to film thickness via a coherent interaction of the reflected and refracted beams.



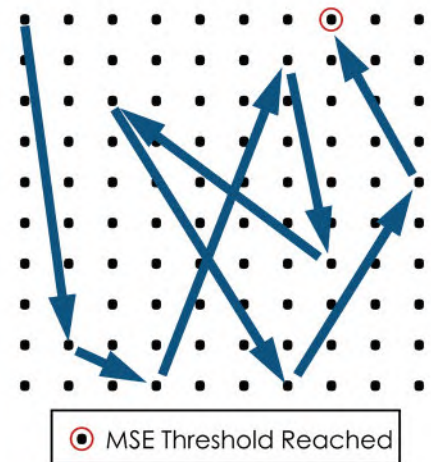
The thickness of a film is measured by ellipsometry based on the interference oscillations caused by light combining from the surface and bottom of the film. The thicker the film, the more oscillations.

The CompleteEASE thickness pre-fit algorithm quickly estimates the film thickness for an unknown layer by leveraging the presence of interference oscillations in the raw measured data. This feature helps to avoid local minima in your fit by providing an automated starting value that is close to the optimized solution.

Global Fitting

Global fitting is a feature used to search a defined parameter space for a global minimum. This approach is helpful to avoid local minima that might prevent the correct fit from being obtained. A standard global fit will scan two or more parameters as a grid. Each point gets assigned an MSE value, and the minimum MSE value along with its corresponding parameters is reported at the end.

CompleteEASE also features a randomized global fit algorithm, which will search the parameter space randomly instead of in a grid. The advantage of this method is that an MSE threshold can be set. Once a point below the MSE threshold has been found, the fit is then followed by a standard Levenberg-Marquardt fit. Tests have shown a reduction in global fit time of 5x or better using this feature.



Alternate Models

Using the Alternate Models function in CompleteEASE is a huge time saver when testing your films for common complexities. In addition to surface roughness and grading, CompleteEASE can now check for simple anisotropy. CompleteEASE allows you to compare the results from each of these models, see which one CompleteEASE suggests as the best fit, and select which one you want based on the results.

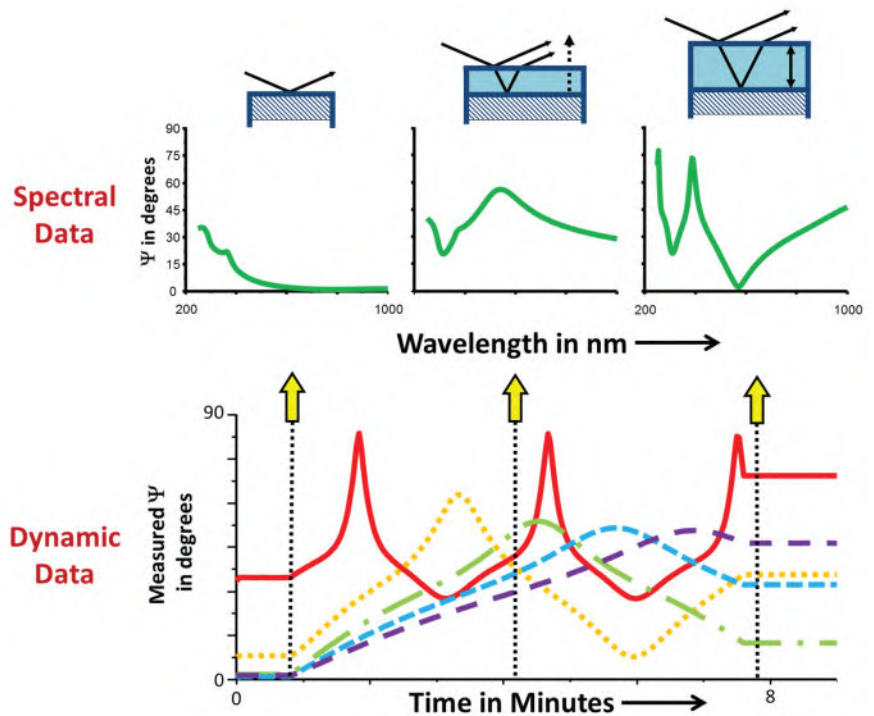
Parameter	Ideal	Roughness	Grading	Roughness & Grading	Anisotropy
MSE	22.126	20.725	5.088	3.471	22.124
Roughness	N/A	2.71 ± 0.571 nm	N/A	1.29 ± 0.093 nm	N/A
A	2.236 ± 0.005161	2.237 ± 0.004834	2.241 ± 0.001185	2.241 ± 0.00080736	2.234 ± 0.006353
B	0.04182 ± 0.006875	0.03910 ± 0.006455	0.03341 ± 0.001532	0.03236 ± 0.001048	0.04242 ± 0.007873
C	0.00190 ± 0.002673	0.00322 ± 0.002516	0.00700 ± 0.00060069	0.00747 ± 0.00041129	0.00180 ± 0.002736
% Inhomogeneity	N/A	N/A	13.70 ± 0.252	13.20 ± 0.176	N/A
Thickness # 1	766.26 ± 1.380 nm	766.68 ± 1.295 nm	766.12 ± 0.324 nm	766.45 ± 0.222 nm	767.32 ± 2.008 nm
n of Cauchy Film @ 632.8 nm	2.35236	2.35450	2.36787	2.36805	N/A

In-situ Analysis + Control

User-friendly Experience

CompleteEASE is the perfect interface for real-time data acquisition, monitoring, and control. It leverages the vast in-situ spectroscopic ellipsometry experience at J.A. Woollam within a user-friendly interface. Real-time ellipsometry data contains a wealth of information. Samples can be fully characterized before, during, and after processing.

Ellipsometry measurements over a wide spectral range provide sensitivity to a variety of material properties such as composition, conductivity, surface conditions, etc. In addition, ellipsometry is sensitive to thickness changes at the sub-angstrom level.



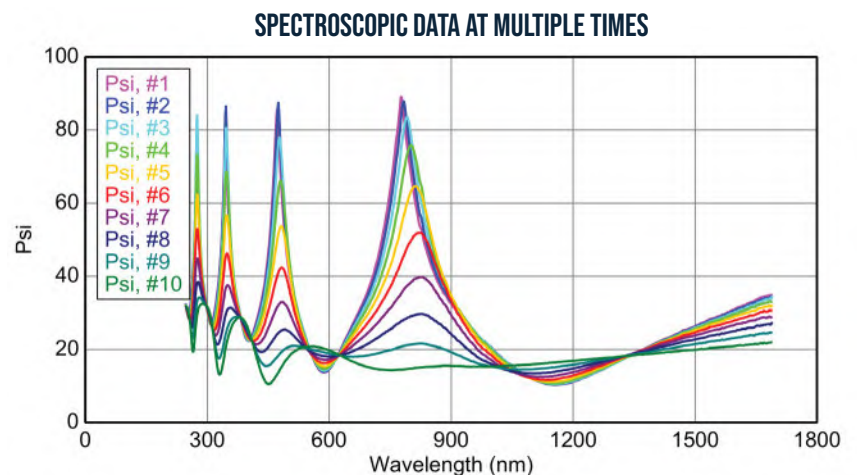
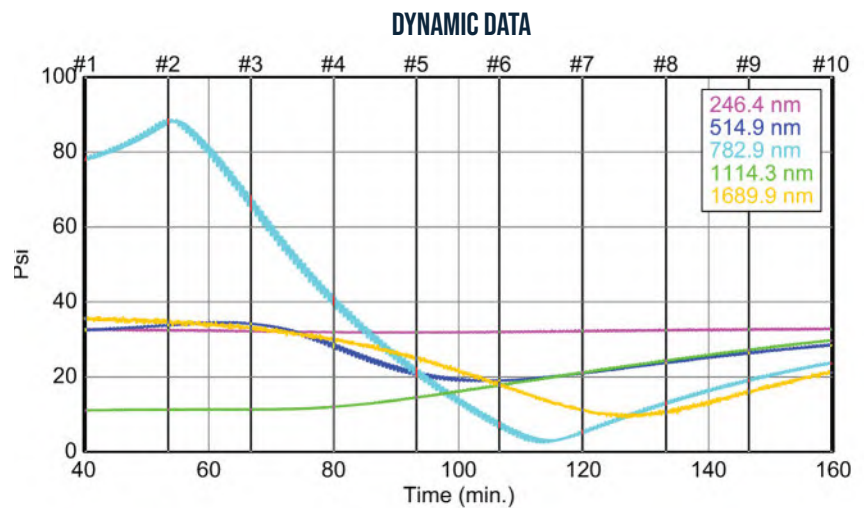
Multi-time-slice Analysis

Analyzing in-situ ellipsometry data is made simple in CompleteEASE. Often the best way to interpret and analyze changes observed in real-time is by using the multi-time-slice analysis mode. This approach allows users to distinguish model parameters that vary with time from other parameters which are constant as a function of time.

CompleteEASE enables easy visualization of ellipsometry data acquired as a function of time and allows users to easily select individual time slices to view and compare.

With multiple-time slices selected, a model can be quickly developed to account for variation between measurements acquired at different times. This can include accounting for time-sensitive variations such as film thickness, temperature, or ambient environment. An example of this is atomic layer deposition of aluminum oxide. The optical properties of Al_2O_3 are constant during ALD growth while the thickness changes.

Once the time-dependent parameters are known, CompleteEASE enables quick fitting of all time slices. The results can be quickly viewed as a function of time. If data was collected as a function of another parameter, such as temperature or relative pressure, results can be quickly plotted as a function of the relevant parameter.



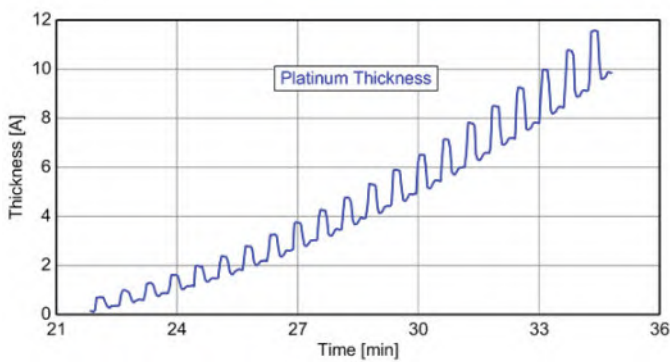
In-situ Applications

In-situ spectroscopic ellipsometry characterizes the thickness and optical properties of a sample in real-time as conditions are varied. This includes measurements during film growth or etch; while varying sample temperature, humidity, or other environmental conditions; and during other external stimulation of the sample, including magnetic, electric and others.

Real-time Deposition Characterization

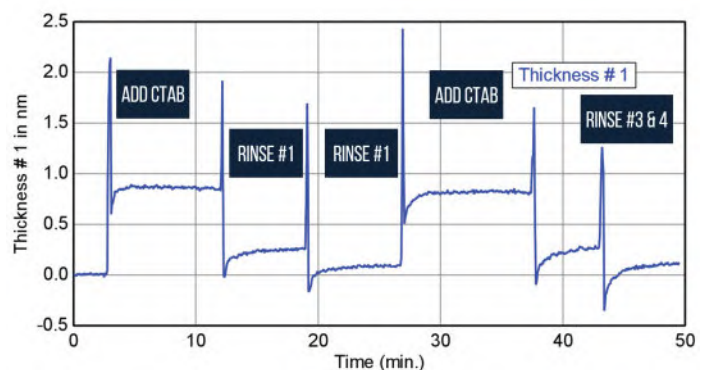
Real-time feedback of thin film properties during deposition enables early detection of variations in films and provides the necessary information to dynamically modify the process to consistently produce high quality coatings. In-situ ellipsometry is also used to characterize substrate monolayer adhesion, reagent conditions, rinsing, etc.

ATOMIC LAYER DEPOSITION OF PLATINUM ON SILICON



Atomic Layer Deposition has demonstrated monolayer control for thin film growth. In-situ ellipsometry is the perfect tool to match monolayer sensitivity to this unique process capability.

CTAB ADSORPTION AT SURFACE

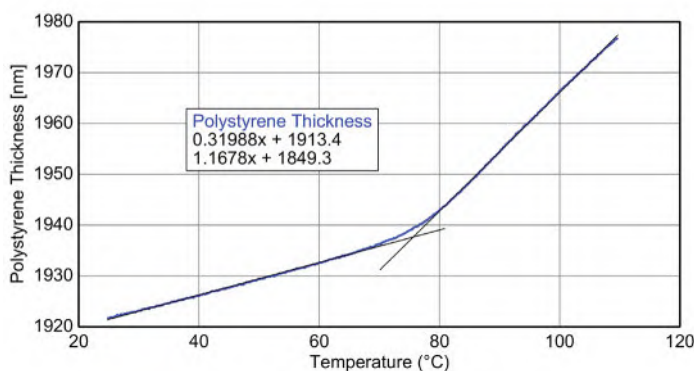


Phase (Delta) is highly sensitive to thin films, which allows precise characterization of this organic monolayer during attachment and rinsing steps.

Temperature Studies

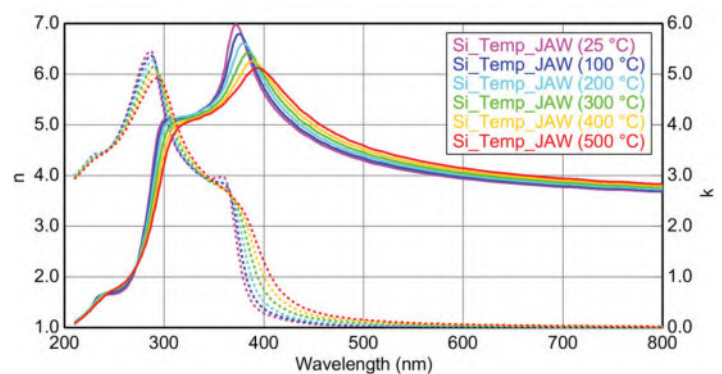
Variable temperature measurements can be very useful for a wide variety of applications. Low temperatures are valuable for optical coatings designed for use in satellite telescopes, superconductive materials, and critical point detection in semiconductors. Elevated temperatures are often used to study phase transitions in materials and to accurately determine material properties at growth temperatures.

POLYSTYRENE THICKNESS VS. TEMPERATURE



The change in rate of thermal expansion of films caused by temperature change clearly identifies the glass transition temperature. These results are easily obtained using the Graph Scratchpad in CompleteEASE.

OPTICAL CONSTANTS OF SILICON VS. TEMPERATURE



The optical properties of silicon and many other materials are temperature dependent. Users can easily create their own temperature or composition libraries for various materials.

Customer Support

SHORT COURSES

We offer short courses multiple times per year at various locations across the globe. Our course syllabus follows a three-day format with two sessions per day:

- Session 1: Introduction to Ellipsometry
- Session 2: Transparent Materials
- Session 3: B-Spline for Absorbing Materials
- Session 4: General Oscillator Modeling
- Session 5: Complexities & Non-idealities
- Session 6: Analyzing Mapping & In-situ Data

Short courses include extensive training through examples and interaction between other students and instructors. Contact your local representative or sales@jawoollam.com for more information regarding upcoming short courses.



ON DEMAND

Our commitment to continual customer support is what sets us apart. We offer a variety of learning opportunities each year that take place all over the world—both online and on-location. We stand behind our products and continuously offer guidance and assistance, so you can be confident about getting the most out of your experience with our products and move forward with your research and custom projects.

There are a variety of subjects that we cover through our online webinars that feature applications such as porosimetry, anisotropy, Mueller matrix, and infrared ellipsometry.

For those interested in online training, we've developed the CompleteEASE training series. For more information, visit our website or scan the QR code below.



UPGRADES

CompleteEASE 6 made its debut in late 2017 with a host of new features that enhance the user interface and enable analysis of more complex sample types. We are continuously updating the software to improve the user experience. Some of the recent updates include:

+Easily fit semi-absorbing materials

We've recently simplified the analysis procedure for semi-absorbing films by automating the B-Spline layer. It's now possible to analyze the entire wavelength range of a UV-absorbing material with just a few clicks.

+Add common complexities using Alternate Models

We've upgraded the ability to test for common complexities with a single click of the mouse. Now, you can check for surface roughness, grading, and anisotropy. CompleteEASE will suggest the most appropriate model and give you the option to apply it.

+Analyze complex material systems with the Full Tensor Layer

Each element of the dielectric function tensor can be modeled individually with the addition of the Full Tensor layer. The KK B-Spline has been integrated into this approach to ensure your results are physically realistic and devoid of noise propagation.



PLEASE CONTACT US FOR MORE INFORMATION ABOUT THESE MODELING FEATURES AT [INFO@JAWOOLLAM.COM](mailto:info@jawoollam.com). IF YOU'RE INTERESTED IN A FREE UPGRADE, SCAN THE QR CODE TO THE RIGHT.





Versatile

For more information:



J.A. Woollam

311 South 7th Street | Lincoln, NE 68508 | USA

M-2000

Specification sheet 2021

The M-2000® is the perfect combination of speed and accuracy. A wide spectral range (deep ultraviolet to near infrared) is measured in seconds – making the M-2000 ideal for a large range of applications: quick quality control, real-time process monitoring and in situ control, uniformity mapping, and more.



M-2000

Specification sheet 2021

M-2000

Specification sheet 2021

Features

Patented Rotating Compensator Ellipsometer (RCE) Technology

RCE technology overcomes the limitations of other ellipsometers.

	RCE	RAE	RPE	Phase Modulated
Measure all Ψ/Δ accurately	Yes	No	No	Requires 2 measurements
Measure Δ handedness	Yes	No	No	Yes
Measure Depolarization	Yes	No	No	Requires 2 measurements
Combine with fast CCD detection	Yes	Yes	Yes	No

CCD Detection System

The M-2000 uses a CCD detector for simultaneous measurement of hundreds of wavelengths. This allows measurement from the UV to NIR in less than a second.

Wide Spectral Range

The M-2000 is available in a variety of spectral ranges with options from the UV to the NIR. The widest spectral range is 193nm to 1690nm with simultaneous data collection at more than 690 wavelengths.

Precise Alignment

A built-in 4-quadrant alignment detector allows precise sample alignment, whether mounted on your process chamber or a variable-angle base.

Software

Ellipsometry is an effective characterization technique but requires powerful software to get full benefit from the measurement. Our CompleteEASE® software provides easy calibration, data acquisition, and analysis for all your applications.

In Situ M-2000

With fast measurement speed and high accuracy, the M-2000 is a perfect match for real-time deposition/etch monitoring and control.



M-2000 ellipsometer components and mounting hardware to attach to chamber.

Ex Situ (Benchtop) M-2000

The M-2000 is offered on a variety of bases to meet your application and budget. Choose from fixed angle or automated angle with either horizontal or vertical sample mount. Additional options include focusing optics, manual or automated sample translation, heat stages, liquid cells, and more.



M-2000 with automated angle base, featuring a horizontal sample mount.

M-2000

Specification sheet 2021

System specifications

System Configuration (in order)

Light source
Fixed polarizer
Continuously rotating compensator
Sample
Fixed analyzer
Spectrometer and detector

Spectral Range

Model V: 370-1000nm, 390 wavelengths
Model U, X: 245-1000nm, 470 wavelengths
Model X-210: 210-1000nm, 485 wavelengths
Model D: 193-1000nm, 500 wavelengths
+NIR: +1005-1690nm, +190 wavelengths

Spectral Resolution Bandwidth

UV/VIS (<1000nm):
1.6nm wvl. spacing; ~5nm bandwidth FWHM
NIR (>1000nm):
3.4nm wvl. spacing; ~10nm bandwidth FWHM

Light Source

Model V: Quartz Tungsten Halogen (QTH)
Model U, D: QTH+Deuterium
Model X, X-210: Xenon
+NIR: Same as above

Data Acquisition Rate

Max. data acquisition rate is determined by compensator rotation speed, which is 20Hz for most M-2000 models. Typical measurements for best signal-to-noise average between 1-5 seconds.

Beam Diameter

Standard beam is collimated with 2-5mm.
Focusing options available.

Beam Divergence

Less than 0.3° (without focusing)

Measurable Quantities

Ellipsometry: Ψ (0°-90°) and Δ (0°-360°); N, C, and S
Intensity: %Transmission and % Reflection
Depolarization: % Depolarization
Generalized Ellipsometry: AnE, Asp, and Aps (3 ratios of generalized Jones Matrix). Useful for samples that are anisotropic with cross-polarization.
Mueller Matrix: 11 normalized elements of the Mueller Matrix (normalized to m_{11}). Useful for samples that are both anisotropic and depolarizing.

Typical Accuracy

Straight-through measurement of empty beam, met by 95% of the measured wavelengths with ten second averaging time:

$$\Psi = 45^\circ \pm 0.075$$

$$\Delta = 0^\circ \pm 0.05$$

Typical Repeatability

Thirty repeated straight-through measurements of empty beam, each with zone-averaging and ten second averaging:

$$\delta\Psi \leq 0.015^{**}$$

$$\delta\Delta \leq 0.015^{**}$$

*1-standard deviation

Thirty repeated measurements at 65° angle and ten second averaging with fixed sample:

native oxide (nominally 2nm) on silicon:

$$\delta\text{thickness} < 0.003\text{nm}^*$$

*1-standard deviation

thermal oxide (nominally 25nm) on silicon:

$$\delta\text{thickness} < 0.005\text{nm}^*$$

*1-standard deviation

M-2000

Specification sheet 2021

Facility requirements

Environmental Operating Range

Temperature: 10°C to 35°C

Humidity: 20% to 80% (non-condensing)

Power

100-240 VAC, 50/60Hz, 5 Amps max.

Table

Integrated table with rack mount cabinet is optional. If not purchased, a sturdy table is required. Vibration isolation table is NOT required. Instrument weight depends on instrument configuration and may range from 50-150 lbs.

Recommended table size:

Width 60"

Depth 30"

Height 36"

Optional: shelf or 19" rack mount below

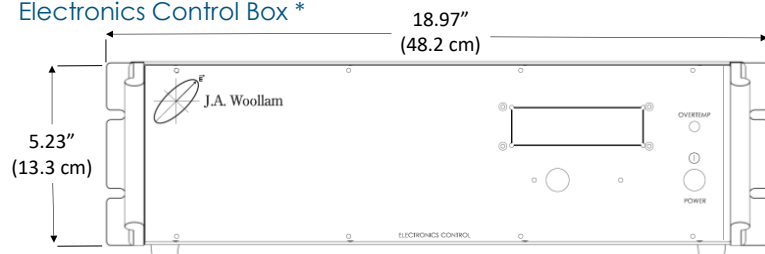
Ambient Lighting

RCE technology allows accurate measurements under normal room light conditions.

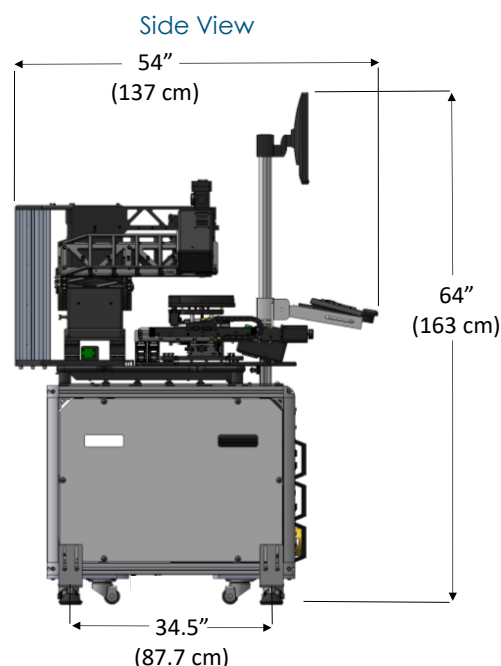
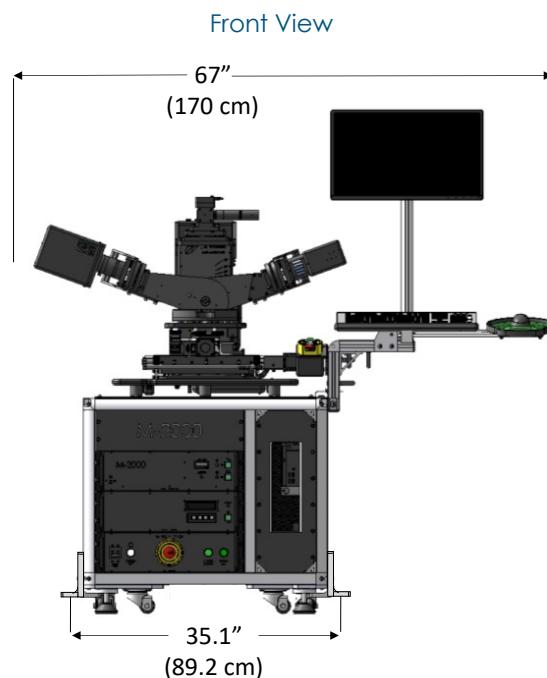
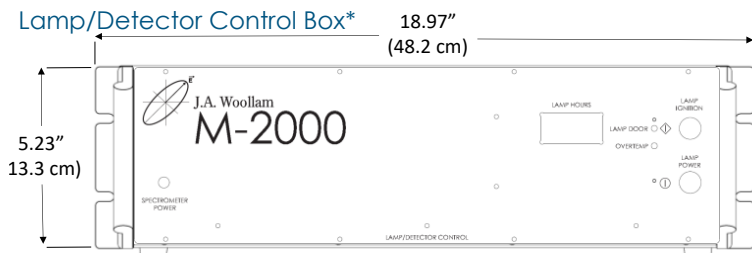
Dimensions

Dimensions depend on instrument configuration. Approximate dimensions for a larger system (M-2000 DI with 300mm XY mapping and integrated table) are shown on this page.

Electronics Control Box *



Lamp/Detector Control Box*



*Standard rack mount cases, 24" deep

M-2000

Specification sheet 2021

Base options

Test Base

Angle of incidence: $\sim 65^\circ$
Accuracy: $\pm 0.2^\circ$
Repeatability: 0.005°
Horizontal sample mount
Max sample size: 150mm dia.
Max sample thickness: 20mm



All bases include 3-axis sample alignment:
X and Y (tip and tilt) resolution: 0.001°
Z (height) resolution: $5 \mu\text{m}$

Fixed Angle Base

Angle of incidence: $\sim 65^\circ$
Horizontal sample mount
Automated z-height
Max sample size: 300mm dia.*
Max sample thickness: 18mm*



Auto Angle Base (Horizontal)

Angle of incidence: 45° - 90°
Accuracy: $\pm 0.02^\circ$ or better
Repeatability: $< 0.005^\circ$
Horizontal sample mount
Automated z-height
Max sample size: 300mm dia.*
Max sample thickness: 18mm*



**Maximum sample size depends on system configuration. Options for larger or thicker samples may be available. Contact Quantum Design for details.*

Auto Angle Base (Vertical)

Angle of incidence: 20° - 90°
Accuracy: $\pm 0.02^\circ$ or better
Repeatability: $< 0.005^\circ$
Vertical sample mount via vacuum chuck
Max sample size: 200mm dia.
Max sample thickness: 20mm



Vertical base simplifies acquisition of transmission ellipsometry and intensity data.

M-2000

Specification sheet 2021

Other options

Sample Translation

Manual

50 mm by 50 mm XY

* Minimum step = 2.5 μ m

Computer Automated

50 mm by 50 mm XY (vertical base only)

100 mm by 100 mm XY

200 mm by 200 mm XY

300 mm by 300 mm XY

* Minimum step = 2.5 μ m

Contact Quantum Design to discuss larger options.

Automated Tip-Tilt

Automated tip-tilt alignment for samples that do not lie flat.

Horizontal base only.

Transmission Mounts

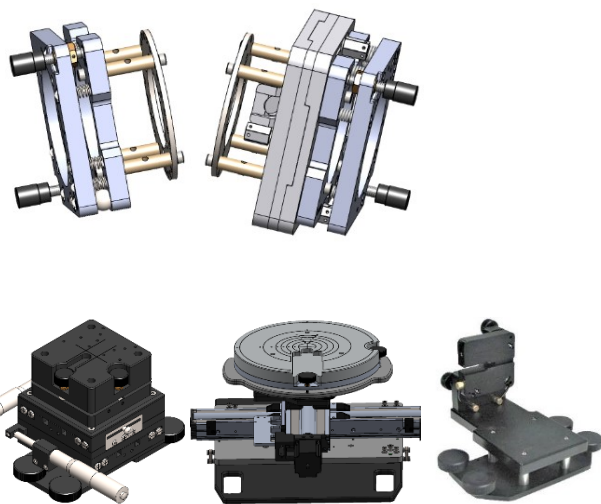
Holds samples vertically in light path to allow normal incidence transmission measurements on horizontal bases.

Sample Rotation

Upgrade sample stage to include automated sample rotation (360° Theta-only). Useful when studying anisotropy.

In Situ Package

Mount source and receiver to chamber.



Manual translator, automated translator, and transmission mount for horizontal base.

Focusing

Reduce measurement beam size. Useful for patterned samples, small samples, and fine mapping.



Focusing Optics

Model (on Fixed or Auto Angle Base)

V, VI	220 μ m beam dia.
U, UI, D, DI	300 μ m beam dia.
X, XI	120 μ m beam dia.

Camera

Add a camera to M-2000 systems with focused spot option to visualize the measurement area. The actual beam may not be visible on smooth surfaces, but the location can be identified based on reference location. The camera option includes a 3Mpixel CCD Camera, Lens set, and Illumination setup.

- 3x Magnification
- Field of view: 2.1 x 1.6mm
- Working distance: 77mm
- Digital zoom: up to 8x



Manual translator, automated translator, and rotator for vertical base.

M-2000

Specification sheet 2021

Other options

Temperature Stages

Basic Temperature Stage

Temperature range: Room to 300°C

Standard Temperature Stage

Temperature range: -70°C to 600°C

High Temperature Stage

Temperature range: Room to 1000°C



Contact Quantum Design for full Temperature Stage Spec Sheet.

Liquid Cells

Horizontal

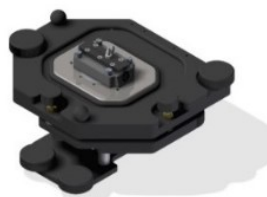
5 mL Horizontal Liquid Cell

500 μ L Horizontal Liquid Cell

2 mL Electrochemical Cell*

5 mL Heated Liquid Cell

500 μ L Variable Temperature Liquid Cell



Vertical

5 mL Vertical Liquid Cell

270 μ L Vertical Liquid Cell

37 mL Electrochemical Cell*

45 mL Electrochemical Cell*



*Customer supplies electrodes.

Contact Quantum Design for full Liquid Cell Spec Sheet.

Cryostat

Standard: 4.2-500 Kelvin

Optional: 4.2-800 Kelvin

Requires vertical base or in situ package.



Environment Cell

For measurements under varying solvent partial pressure ambient conditions.



QCM-Compatible Mounting Stage

Tilt stage designed to hold Q-Sense QCM-D Quartz Crystal Microbalance

Woollam provides mount only. The QCM-D and Cell to accommodate ellipsometry measurements is from Q-Sense.



M-2000

Specification sheet 2021

Other options

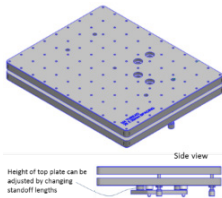
Porous Sample Chuck

Sample chuck with porous surface. Useful for thin plastic substrates.



Optical Breadboard Mount

Allows users to mount their own components such as prisms, cells, etc.



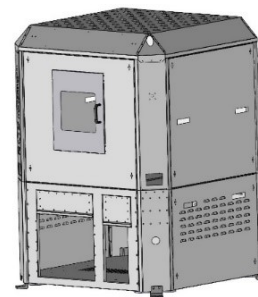
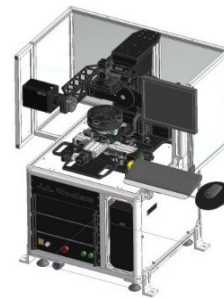
Tiltable Sample Stage

Designed for textured monocrystalline silicon. Automated stage tilts to align pyramid faces to plane of incidence.



Rack Mount Table or Enclosure

Integrated table with rack mount for electronics, computer, and EMOs. Options available with 3-sided or full system enclosure.



M-2000

Specification sheet 2021

Options compatibility by base type

Option	Test Base	Fixed Angle Base	Auto Angle Base (Horz)	Auto Angle Base (Vert)
Manual Sample Translation	NO	YES	YES	YES
Automated Sample Translation	NO	YES	YES	YES
Automated Tip-Tilt	NO	YES	YES	NO
Transmission Mount	NO	NO	YES	N/A
Sample Rotation	NO	YES	YES	YES
In Situ Package	YES	YES	YES	YES
Focusing	NO	YES	YES	YES
Camera	NO	YES	YES	YES
Temperature Stages	NO	NO	YES	YES
Liquid Cells	NO	NO	YES	YES
Cryostat	YES w/in situ pkg	YES w/in situ pkg	YES w/in situ pkg	YES
Environment Cell	NO	NO	YES	NO
QCM Stage	NO	NO	YES	NO
Porous Sample Chuck	NO	YES	YES	NO
Optical Breadboard Mount	NO	YES	YES	NO
Tiltable Sample Stage	NO	NO	YES	NO
Rack Mount Table	NO	YES	YES	YES

M-2000

Specification sheet 2021

M-2000 References

Dr. Eva Bittrich (Germany)

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
Teilinstitut Makromolekulare Chemie
Phone: +49 (0)351-465-8256
E-mail: bittrich-eva@ipfdd.de

Prof. Dr. Erwin Kessels (Netherlands)

Eindhoven University of Technology
Plasma & Materials Processing
Phone: +31 402473477
E-mail: w.m.m.kessels@tue.nl

Dr. Örjan Arthursson (Sweden)

Chalmers University of Technology
Nanofabrication Laboratory
Phone: +46-31-772-4984
E-mail: orjan@mc2.chalmers.se

Dr. Alex Shard (England)

National Physical Laboratory
Phone: +44-20-8943-6193
E-mail: alex.shard@npl.co.uk

Dr. Nieck E. Benes (Netherlands)

University of Twente
Membrane Technology Group
Phone: +31-53-489-4288
E-mail: N.E.Benes@tnw.utwente.nl

Dr. Dirk Hertel (Germany)

Universität zu Köln, Physikalisches Institute Chemie
Phone: +49-221-470-2494
E-mail: dirk.hertel@uni-koeln.de

Dr. Ing. Klaus Kallis (Germany)

Technische Universität Dortmund
Lehrstuhl für Intelligente Mikrosysteme
Phone: +49 (0)231-755-2023
E-mail: klaus.kallis@tu-dortmund.de

Prof. Christophe Detavernier (Belgium)

Universiteit Gent
Dept. of Solid-State Physics
Phone: +32-9-264-4354
E-mail: Christophe.Detavernier@UGent.be

Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D. (Czech Republic)

Charles University in Prague
Department of Macromolecular Physics
Phone: +420-2-2191-2256
E-mail: jaroslav.kousal@mff.cuni.cz

Dr. Gaspar Armelles (Spain)

Instituto de Microelectronica de Madrid,
Consejo Superior de Investigaciones Cientificas
Phone: +34-91-806-0710
E-mail: Gaspar@imm.cnm.csic.es

Prof. Dr. Carsten Schuck (Germany)

Westfälische Wilhelms-Universität
Physikalisches Institut
Phone: +49 251 83-63911
E-mail: carsten.schuck@uni-muenster.de

Prof. Maurizio Canepa (Italy)

Università di Genova, Dipartimento di Fisica
Phone: + 39-010-353-6242
E-mail: canepa@fisica.unige.it

Dr. Peter Petrik (Hungary)

Hungarian Academy of Sciences
Institute for Technical Physics and Materials Science
Phone: +36-1-392-2222
E-mail: petrik@mfa.kfki.hu

Prof. Kurt Hingerl (Austria)

Johannes-Kepler-Universität Linz
Christian Doppler Labor
für Oberflächenoptische Methoden
Phone: + 43-732-2468-9662
E-mail: kurt.hingerl@jku.at

Prof. David Grosso (France)

Laboratoire Chimie de la Matière Condensée
Université Paris VI
Phone: +33-1-44-27-1530
E-mail: david.grosso@upmc.fr

Prof. Gul Yaglioglu (Turkey)

Ankara University, Physics Department
Phone: +90-90-312-212-6720
E-mail: yoglu@eng.ankara-edu.tr



M-2000
Specification sheet 2021



J.A. Woollam

SEZNAM PODDODAVATELŮ / ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

1. Název veřejné zakázky	
<u>Spektroskopický elipsometr</u>	
2. Identifikační údaje účastníka zadávacího řízení	
Obchodní firma:	OptiXs, s.r.o.
Sídlo:	Křivoklátská 37, 199 00 Praha 9
IČO:	02016770
Právní forma:	Společnosti s ručením omezeným

Účastník zadávacího řízení čestně prohlašuje, že nemá v úmyslu zadat určitou část výše uvedené veřejné zakázky jiné osobě, tj. poddodavatel.