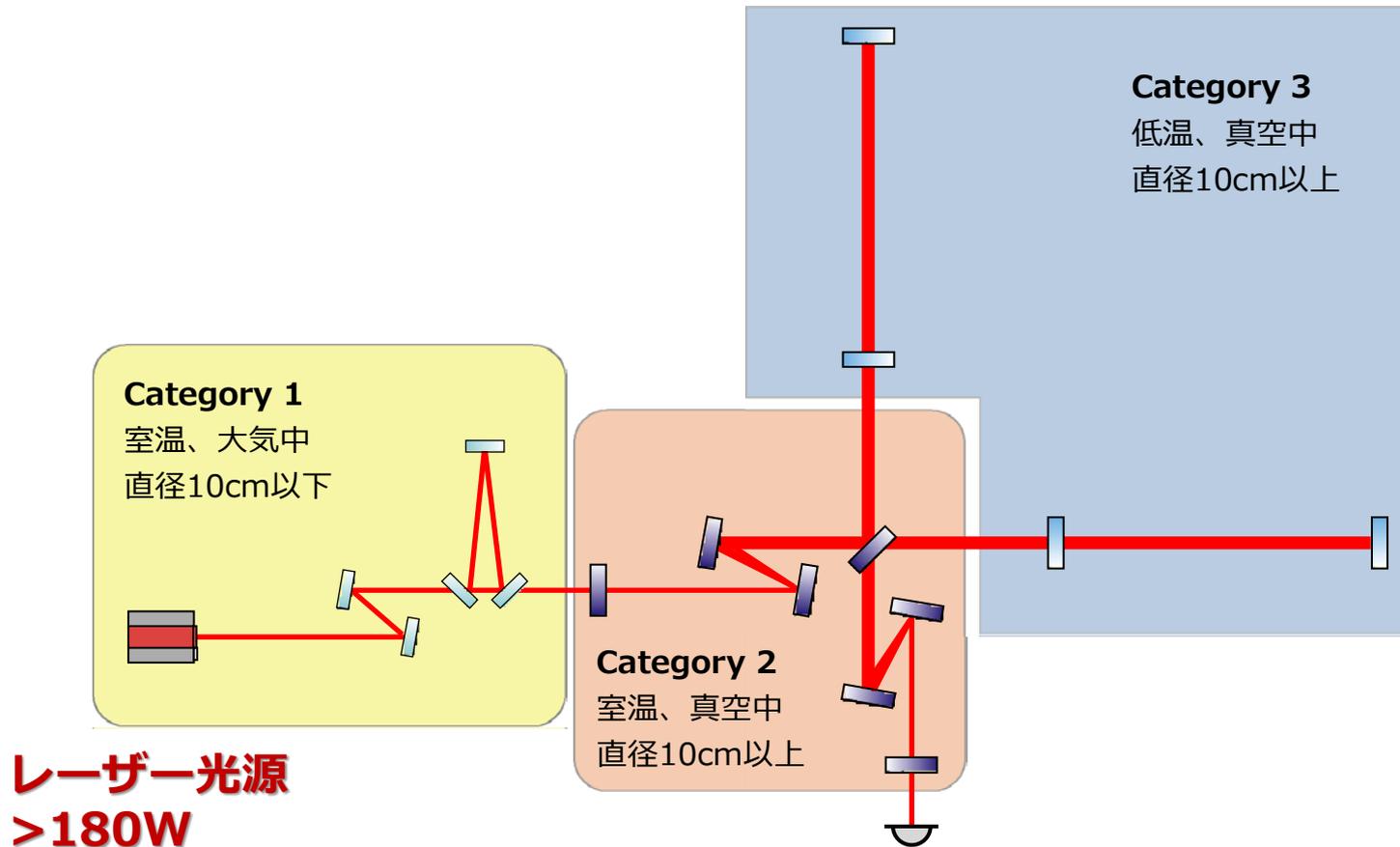


超高品質光学薄膜開発の現状 II

国立天文台，電通大^A

辰巳大輔，上田暁俊，米田仁紀^A

KAGRA に必要な 3種類のミラー



各ミラーでのパワー密度

	Intra-Cavity Power (kW)	Beam Radius (cm)	Power Density (kW/cm ²)
Pre-MC	10 = 200W x50	0.046	1500
MC in/out	24 = 150W x158	0.25	118
MC end	24 = 150W x158	0.44	39
PRM, PR2	0.8	0.40	1.6
PR3	0.8	3.65	0.02
ITM	400	3.51	10
ETM	400	4.00	8

パワー密度
の点では
「カテゴリー1」
が一番シビア。

高パワー密度での問題点

1500 kW/cm²

一般的な

ダメージ閾値
(メーカー保証値)

1000 kW/cm²
= 1 MW/cm²

高いダメージ閾値のミラーが必須！

ミラーへの要求値

散乱

<10ppm

熱吸収

<1ppm

高ダメージ閾値

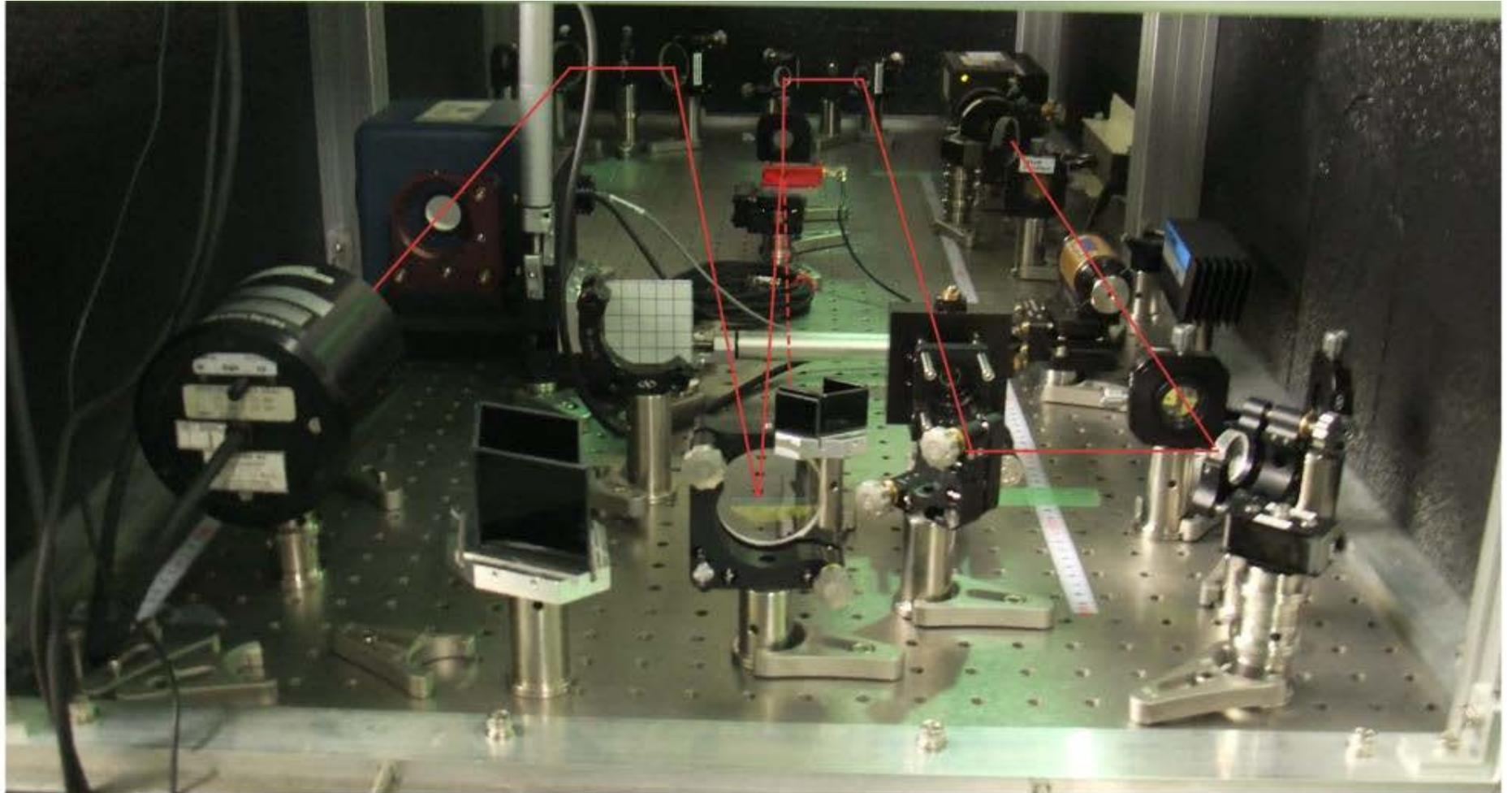
>10 MW/cm²

世の中にない

超低損失、ハイパワー耐性
をもつミラーの開発

低散乱ミラー開発 散乱測定装置

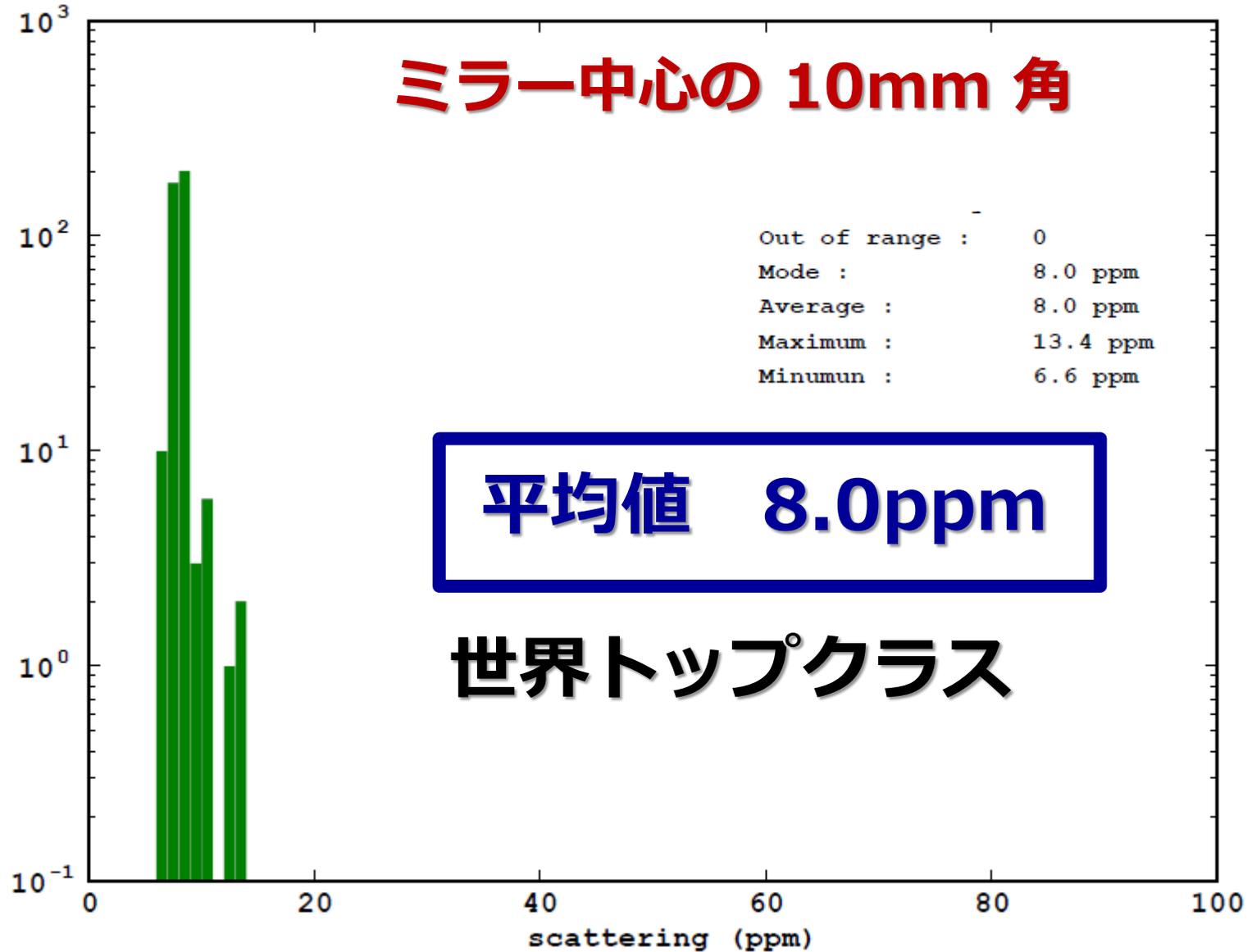
散乱測定実験



@国立天文台 三鷹キャンパス

After Coating

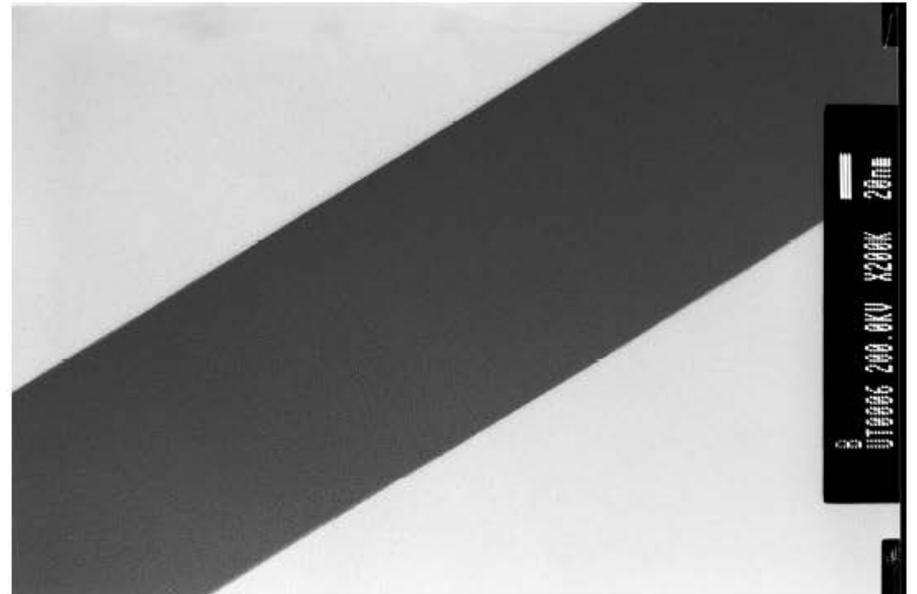
coated by SigmaKoki



膜質の評価試験

電子顕微鏡写真

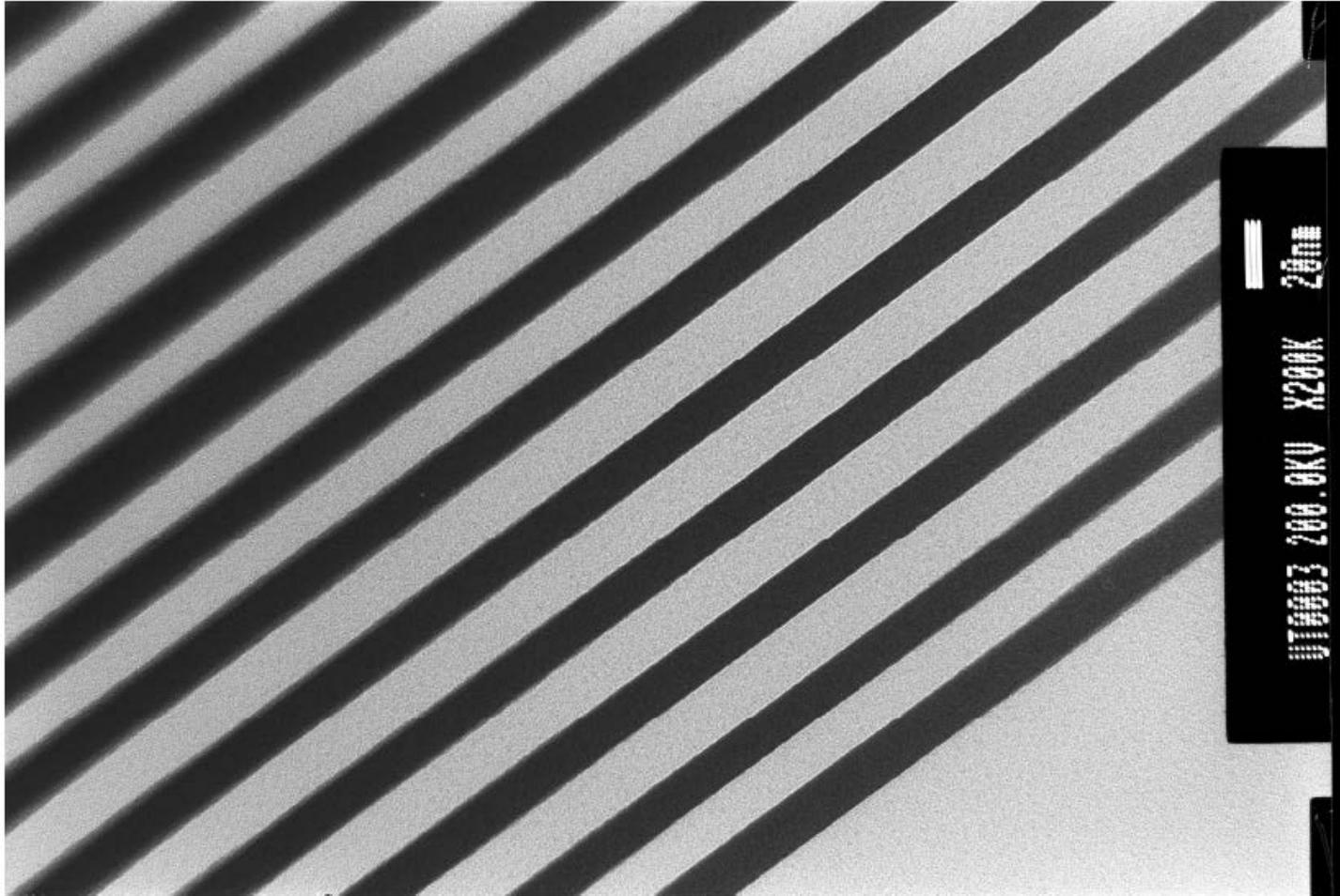
26層、低損失 ($R < 99.99\%$) ミラーの TEM画像



装置：東京大学先端ナノ計測拠点

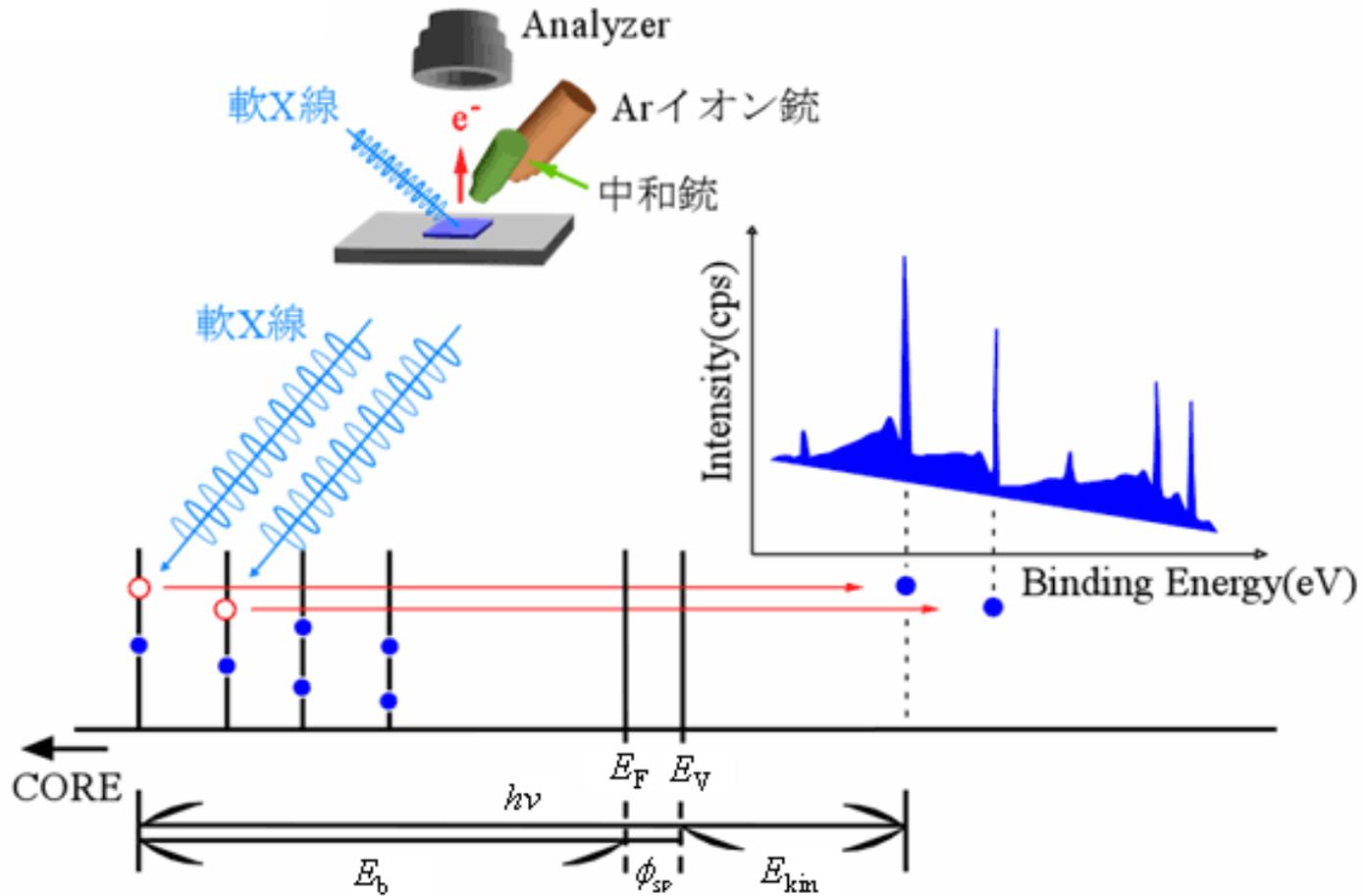
電子顕微鏡写真

260層、 $\lambda/40$ 層のTEM画像



撮像：東京大学先端ナノ計測拠点

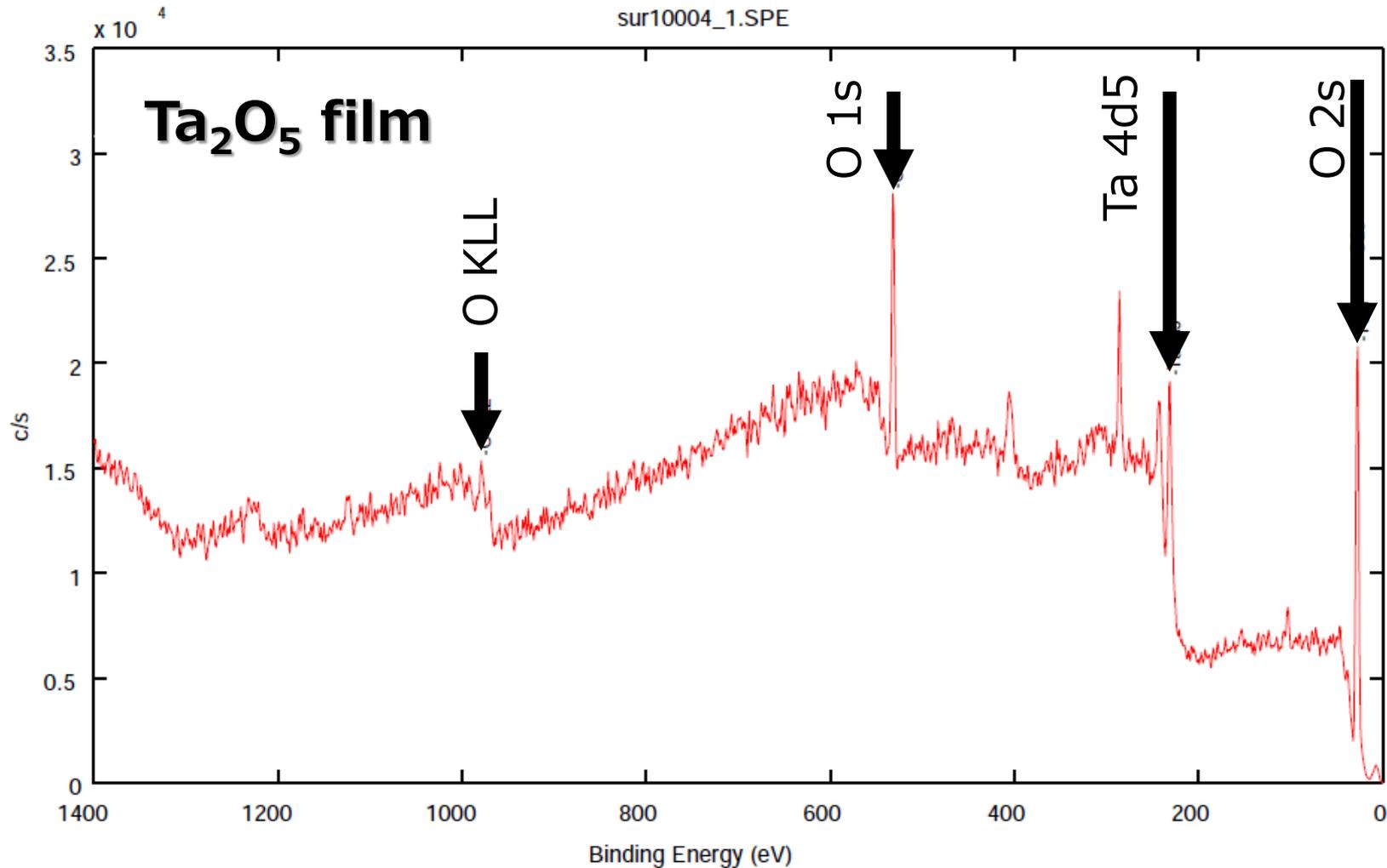
X線光電子分光分析法 (X-ray Photoelectron Spectroscopy : XPS)



装置：東京大学先端ナノ計測拠点

X線光電子分光分析法

(X-ray Photoelectron Spectroscopy : XPS)



測定：上田暁俊

装置：東京大学先端ナノ計測拠点

**ミラー破壊閾値テスト
高レーザーパワー耐性**

Damage Threshold Test

評価報告書

平成26年2月19日
(財)レーザー技術総合研究所

1. 依頼内容
光学部品に対するレーザー照射耐力試験
2. 対象試料
1064nm 高反射膜
3. 照射レーザー条件
 - 波長 : 1064 nm
 - パルス幅 : 10 ns
 - スポットサイズ(1/e²) : 横 380 μ m、縦 415 μ m
 - 照射角度 : 0°
 - 偏光 : -
4. 評価方法
1-on-1

Damage Threshold Test

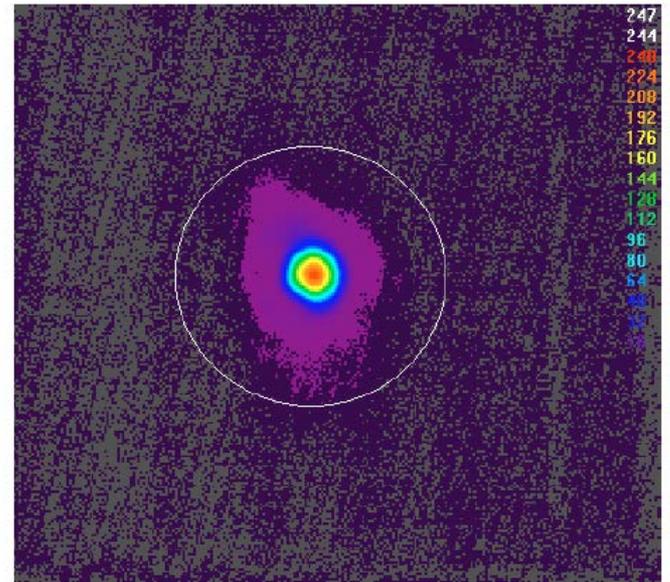


図2. 照射ビームプロファイル (横 380 μm , 縦 415 μm)

3

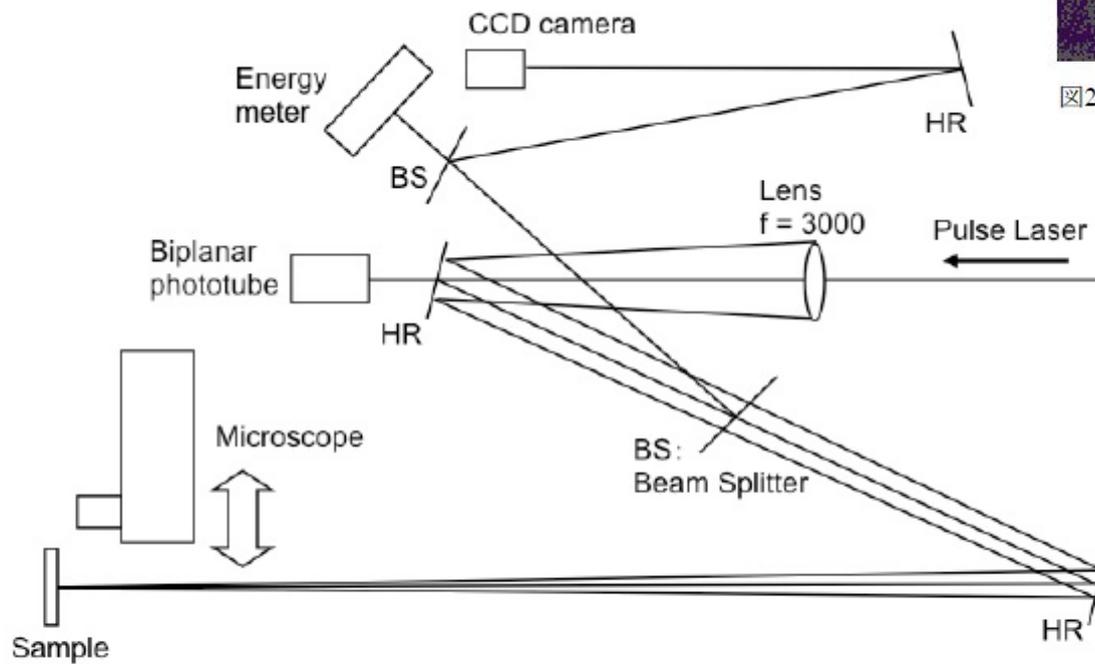


図1. 評価レーザー装置光学配置図

Damage Threshold Test

Table 2 Test method list

Test	特 徴	主な用途
1-on-1	1ヶ所に1回照射を行い損傷の有無に関わらず場所を変え試験を繰り返す。	損傷閾値測定
S-on-1	1ヶ所に特定回数照射を行い損傷を確認し移動する。	実際に使用される状況下に近い損傷閾値測定
N-on-1	1ヶ所に損傷が生じるまで断続的に照射強度を上げ、照射毎に損傷の有無を確認する。	レーザーコンディショニング効果の評価

Damage Threshold Test

446 J/cm²

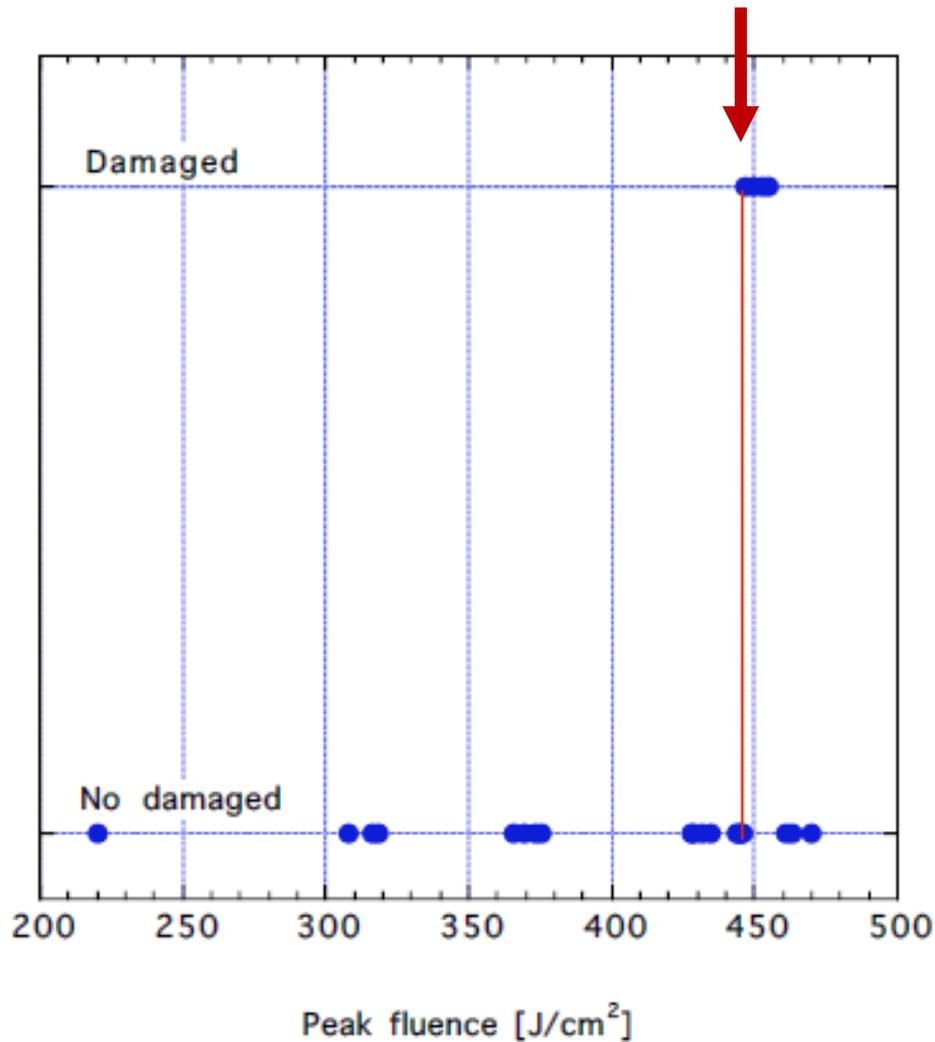
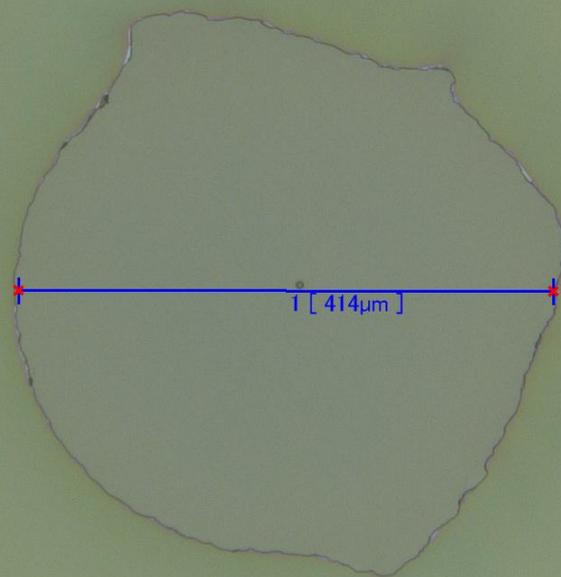


図5. 測定データ (OPSQSP-No.1)

付録2 照射データ (OPSQSP-No.1)

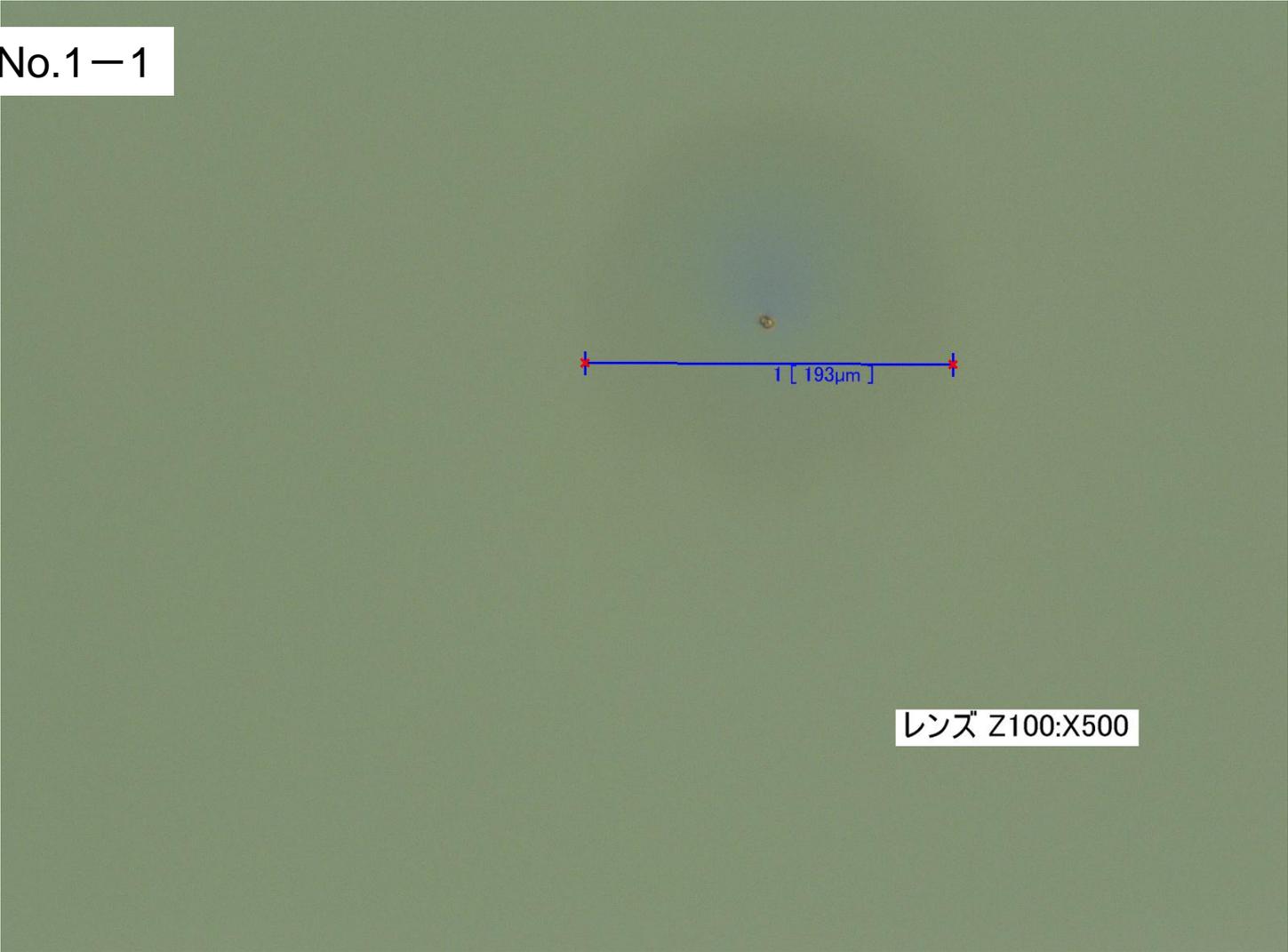
Shot No.	Peak flu. [J/cm ²]	Damaged	Photo
1	220	×	
2	316	×	
3	308	×	
4	318	×	
5	373	×	
6	375	×	
7	366	×	
8	370	×	
9	428	×	
10	432	×	
11	435	×	
12	453	○	Tv023
13	429	×	
14	455	○	Tv027
15	445	×	
16	446	×	
17	461	×	
18	445	×	
19	463	×	
20	449	○	Tv039
21	447	○	Tv041
22	470	×	
23	444	×	
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

NQSQ-No.1-2



レンズ Z100:X300

NQSQ—No.1—1

A micrograph showing a small, brown, circular spot centered in the frame. A horizontal blue line with red tick marks at both ends is drawn below the spot, indicating a scale of 193µm. The background is a uniform, dark olive green color.

1 [193µm]

レンズ Z100:X500



高耐力光学素子研究会

* [研究成果](#)

[研究内容](#)

光学素子レーザー損傷閾値データベース化試験

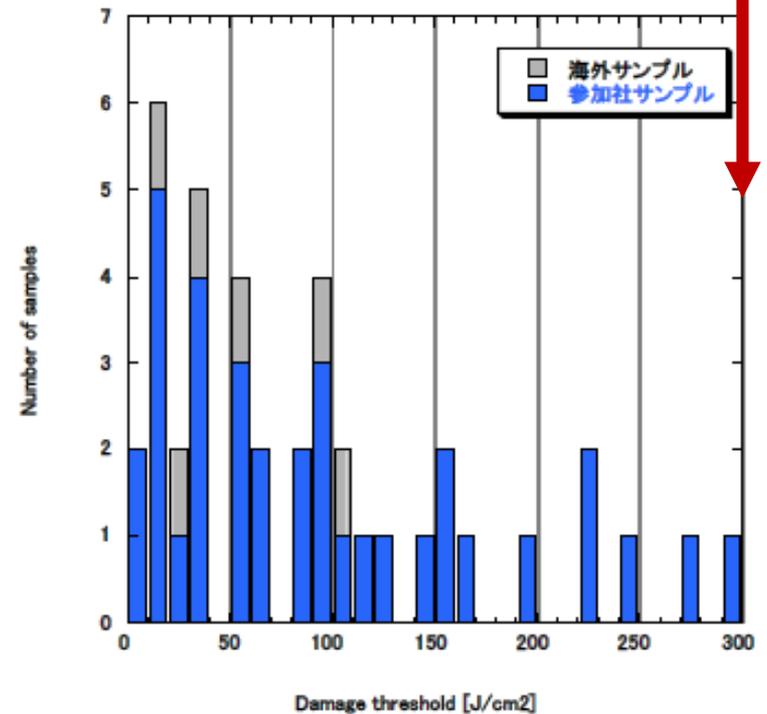
第1回仕様：1064 nm 高反射膜コート

照射レーザー条件

波長 : 1064 nm
 パルス幅 : 10 ns
 照射角度 : 45°
 偏光 : P
 ビームサイズ : X 470μm、Y 480μm (Gaussian 1/e²)
 評価方法 : 1-on-1 (Gaussian peak)

試験結果 (19 社、41 サンプル)

300 J/cm²



Damage Threshold

446 J/cm² with 10nsec pulse

→ **44.6 GW/cm²** (peak power density)

これは one-shot で壊れる閾値

1.5 MW/cm²

KAGRAでは10年の時間スケールで性能が劣化しないミラーが必要。

性能劣化が測定できる評価装置を立ち上げて、さらに詳細なダメージ解析が必要。

(電通大とシグマ光機の共同研究として進行中)。

世界最高レベルのレーザ耐性を有する 高出力用レーザミラー・レーザウィンドウを発売
高スループットなレーザ加工機の実現に貢献



高出力用レーザミラー

本製品は、高出力レーザの実用化に寄与することで、レーザ加工分野における応用の拡大、最先端医療の実現、また生命科学の解析や新材料の開発など、様々な分野の発展に貢献します。

なお、本製品は、独立行政法人日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門と共同で開発した技術を利用しています。

反射率 99.99%

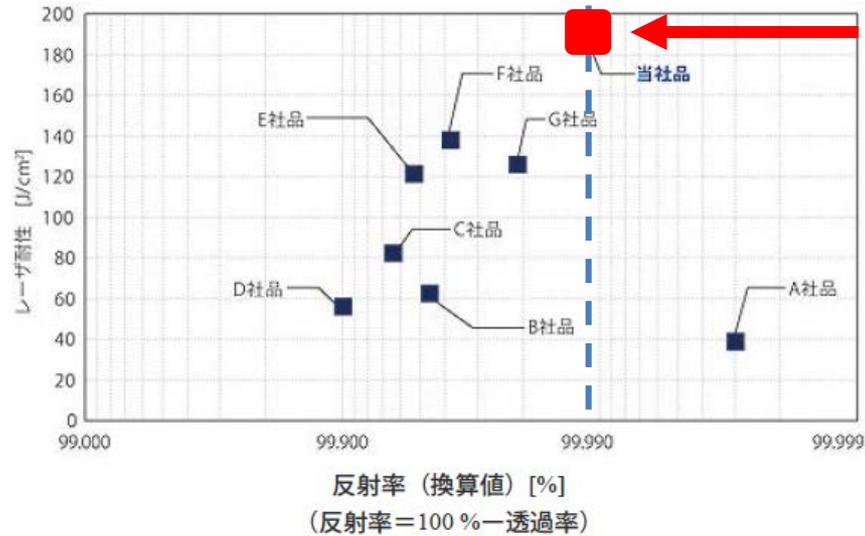
シグマ光機と 共同開発した ミラー



高耐性レーザミラー & レーザウィンドウ

レーザミラー レーザ耐性、反射率 (他社比較)

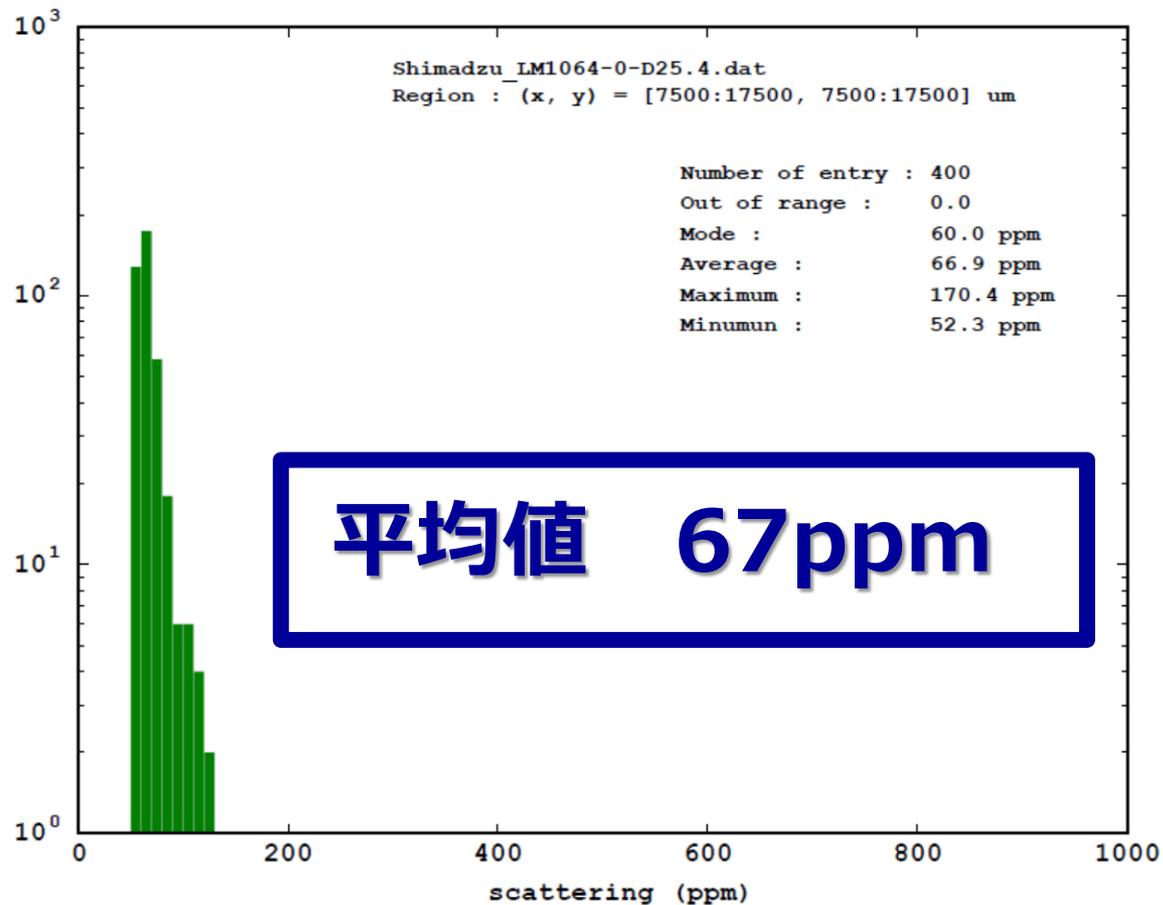
※下記評価方法での当社調査による測定値であり、保証値ではありません。



SHIMADZU

評価方法：1-on-1 test、波長：1064 nm、入射角：0°、パルス幅：10 ns、繰り返し周波数：20 Hz

散乱測定結果：島津製作所製造ミラー



まとめ

Mirror for KAGRA Pre-Mode Cleaner



散乱値 < 10ppm

レーザー破壊閾値
(one-shot)
45 GW/cm²

今後の開発

熱吸収 <1ppm

がまだ残っている。

2014年度に国立天文台に熱吸収測定装置を立ち上げる予定。

吸収低減のため、アニール処理（熱処理）条件の最適化を行う。

謝 辞

- 本開発にご尽力頂いた、**シグマ光機**の方々へ、感謝致します。
清水悦郎、佐藤一也、
伊藤利秀、吉澤繁久、大森崇史、須田清志、
森本隆志、藤川亜矢子（敬称略）
- 本研究の一部は、**文部科学省の支援**を受けた
東京大学先端ナノ計測ハブ拠点に
おいて実施されました。

End