

シンクロトロン放射光の産業利用

平井 康晴

九州シンクロトロン光研究センター

九州シンクロトロン光研究センターは新しい産業の創造と地域産業高度化への貢献を目指す共同利用型のシンクロトロン放射光施設であり、2006年2月に開所した。図1に実際に使われるシンクロトロン放射光の波長（光子エネルギー）範囲をナノテクノロジーの代表的なスケールと合わせて示す。シンクロトロン放射光は材料・デバイスのナノ計測・分析に適した光子エネルギーと強度を持っており、当センターでは表1に示す様々な産業分野の課題解決に活用することを目指して今年度から文部科学省のナノテクノロジーネットワーク事業を受託している（「ナノテク利用」としてユーザーを支援）。「ナノテク利用」（成果公開、無料）は約七割が大学、それ以外は企業や公設試験研究機関の課題であり、内容的には表1に示した分野の材料・デバイスの研究開発に関するものである。一方、当センターでは「一般利用」（成果非公開、有料）による支援も行なっており企業利用の大半が該当する。ただ、内容的には表1に重なっており、企業の「ナノテク利用」も増加している。今後、ユーザーとその利用フェーズにマッチした利用技術と利用方法を整え提供して行きたいと考えている。

図1 シンクロトロン放射光の利用波長（光子エネルギー）

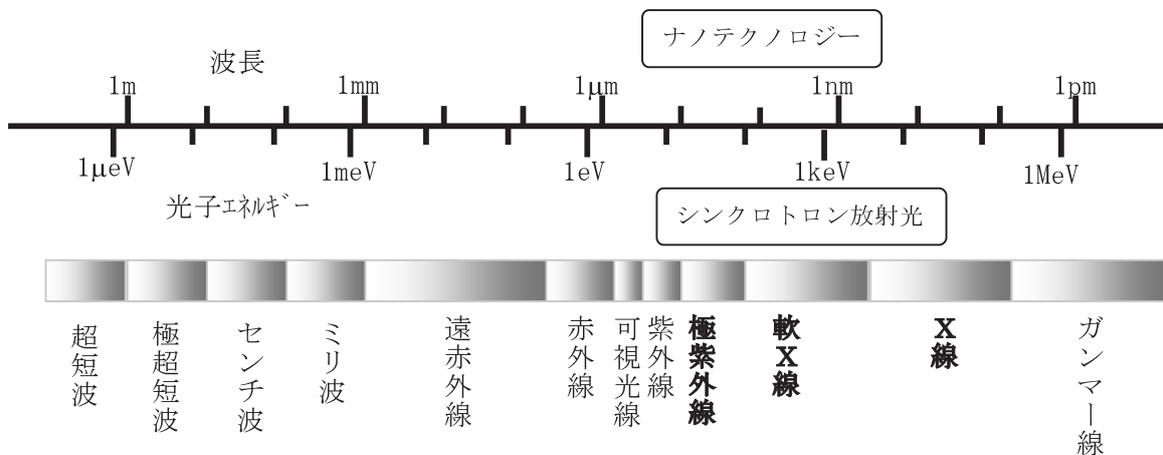


表1 シンクロトロン放射光の産業利用分野（ナノテク分野）

分野	課題例
電子デバイス	集積回路等の高速化・低消費電力化
ディスプレイ	液晶・有機EL等の長寿命化・低消費電力化
ストレージ	ハードディスク等の高記録密度化，高感度化
エネルギー・環境	二次電池の大容量化，長寿命化
地域産業	セラミックス材料等の高機能化
新材料・プロセス	新機能材料，新薄膜形成技術の開発

シンクロトロン放射光の産業利用



財団法人佐賀県地域産業支援センター
九州シンクロトロン光研究センター

平井康晴



X線管の普及

■ CuターゲットからのX線

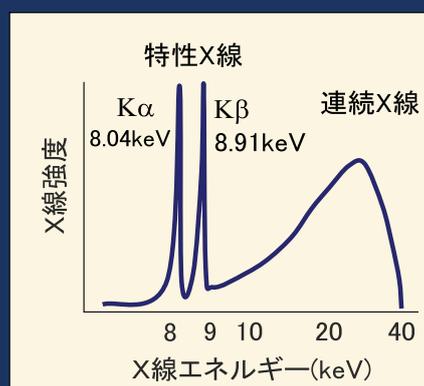
加速電圧 40kV



■ 特性X線 (単色)

遷移輻射

(電子の内殻遷移)



■ 連続X線

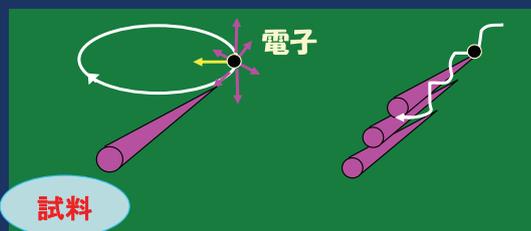
制動輻射(電子が加速・減速されると光る)

→ シンクロトロン放射と同じ原理



シンクロトン放射光

- 電子(荷電粒子)を加速・減速
加速方向と直角に電磁波を放射



- 高エネルギー電子(～数百MeV以上) → X線を放射
電子蓄積リング

- 発散角

1.4GeV → 364mrad 100m先で36.4mm
8 GeV → 64mrad 6.4mm



産業利用への引金

- リソグラフィ 半導体プロセスへの適用
1975年 IBM Spiller (ドイツ DESY 第一世代光源)
IC微細加工プロセス 70nm線幅
1977年 理研 難波 (日本 核研 第一世代光源)
0.2 μ m線幅, 2.2 μ m高さ, 0.7 μ mピッチ
- EXAFS アモルファス, 多結晶半導体の評価
1978年 Stanf.Univ. Kincaid (米国 SPEAR 第一世代光源)
- 企業専用ビームライン 基礎・基盤研究
1982-1986年 IBM, Exxon, AT&T, 他 (米国 NSLS 第二世代)
リソグラフィ, EXAFS, XPS, XMCD, X線回折, 他
1984-1987年 NTT, Hitachi, NEC, Fujitsu (日本 PF 第二世代)
リソグラフィ, EXAFS, XPS, X線回折, X線CT, 他



産業利用の展開

■ 企業専用ビームライン 基幹事業への貢献

1997年 CAT方式（米国 APS 第三世代）
産学官チーム，現在12チームに縮小。

1999年 13企業グループ（日本 SPring-8 第三世代）
XAFS, X線回折, マイクロビーム, XMCD

■ 現在，複数の産業利用ビームライン(SPring-8)

■ 産業利用を主目的とする放射光施設

2006年 九州シンクロトロン光研究センター



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

5

世界の放射光施設

■ 施設数 ～五十数ヶ所



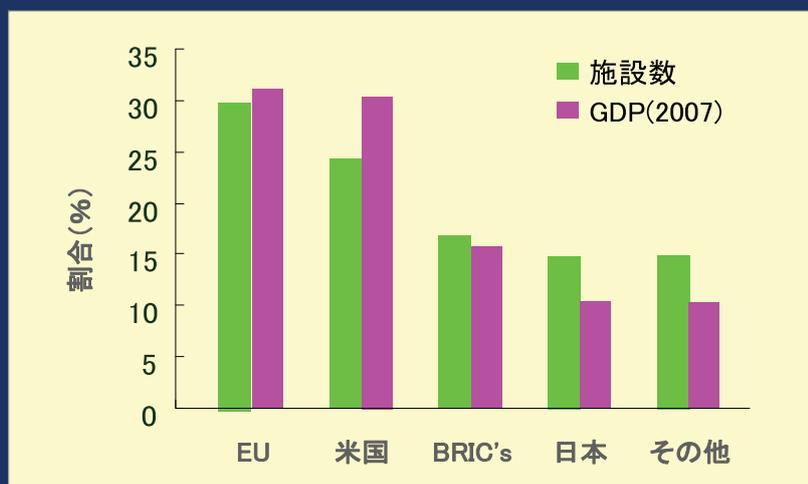
© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

6

放射光施設数とGDP

■両者の分布に相関 → 国力/競争力を反映¹⁾
社会インフラ²⁾



1) 平井康晴: インフォSAGA 47 (2007) 4.
2) 上坪宏道: 日経サイエンス 3 (2007) 1.

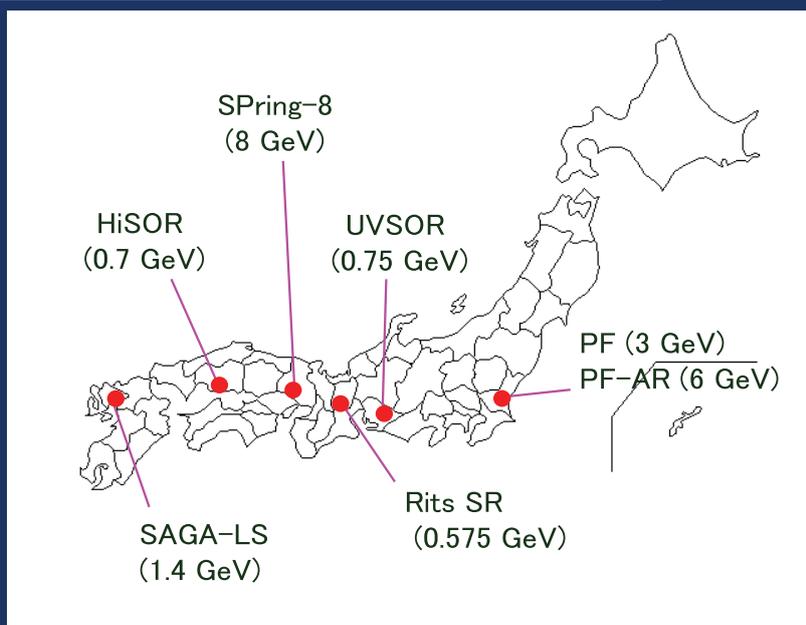


© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

7

全国共同利用型施設



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

8

九州シンクロtron光研究センター

2006/02 開所



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロtron放射光とナノテクノロジー

9

ナノ計測・分析支援



「九州シンクロtron光研究センターナノ計測・分析支援パンフレット」より



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロtron放射光とナノテクノロジー

10

ナノ計測・分析支援

分野	課題例
電子デバイス	集積回路等の高速化・低消費電力化
ディスプレイ	液晶・有機EL等の長寿命化・低消費電力化
ストレージ	ハードディスクの高記録密度化, 高感度化
エネルギー・環境	二次電池の大容量化, 長寿命化
地域産業	セラミックス材料等の高機能化
新材料・プロセス	新機能材料, 新薄膜形成技術の開発

「九州シンクロトロン光研究センターナノ計測・分析支援パンフレット」より

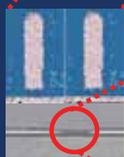


© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

11

ストレージ : HDD用GMRセンサ積層膜の評価

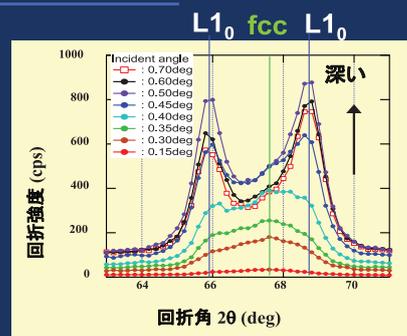


GMRセンサ
(読出し)

加工用Ar⁺ビーム



磁気センサ多層膜
(各層は数nm厚さ)



反強磁性層の加工ダメージを評価

<結果>

- ・ L₁₀構造 → fcc構造に変化
- ・ 変化は表面から約2nm深さ
- ・ 格子歪の深さは約7nm深さ

→ 加工条件最適化の指針を得た。

上田和浩 : SAGA-LSナノテクセミナー報告書(2007.12)



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

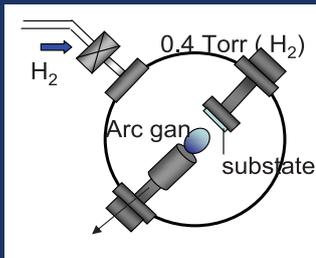
2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

12

新材料 : 超ナノ微結晶ダイヤモンド(UNCD)膜の評価

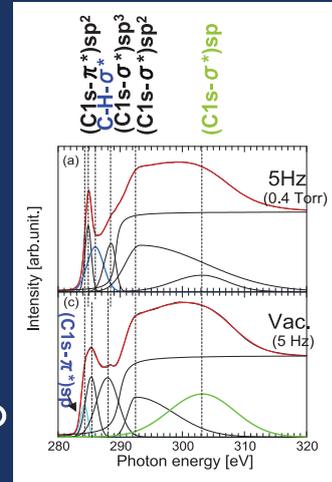
UNCD : Ultrananocrystalline Diamond , 10nm以下のダイヤモンド結晶の集合体

特徴: 温度安定性, 硬度, 平滑性に優れる
成膜: 炭素棒アークプラズマ法(水素ガス中)
応用: 金型の離型剤, デバイス用薄膜



アークプラズマ法

C-K吸収端でXANES測定
↓
(C-H)σ*軌道の強い
ピークを観測
↓
高硬度で安定な膜と水素化の
相関を説明



吉武 剛, 他: 2007年度研究成果報告会



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

13

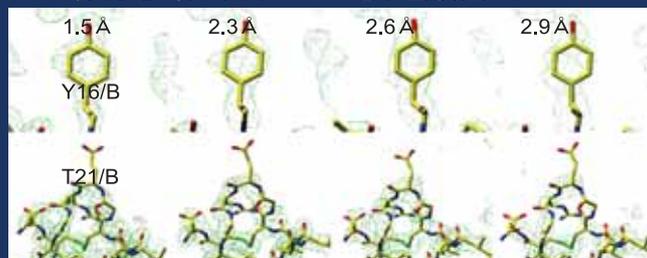
バイオメディカル : 蛋白の構造解析

< 硫黄原子の異常散乱現象を用いた蛋白構造解析 : S-SAD法の開発 >

特徴: 蛋白結晶中の含有軽元素を利用して位相決定を行なう
九州シンクロトロン光研究センターの光源特性を最大限活用(低エネルギーX線)
応用: 従来の重元素置換なしで蛋白の構造解析が可能のため,
構造解析可能な蛋白の種類が一挙にひろがる。



ウシ由来インスリンの分子モデル
青がA鎖、緑がB鎖、黄色がシステイン



低エネルギーX線使用により位相決定精度が向上

河本正秀, 他: 2007年度研究成果報告会



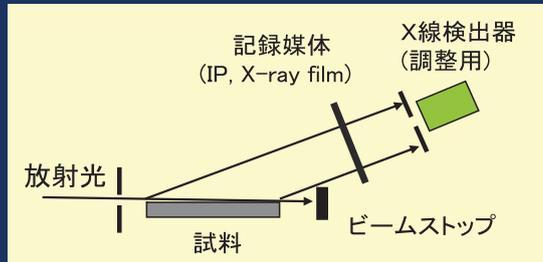
© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

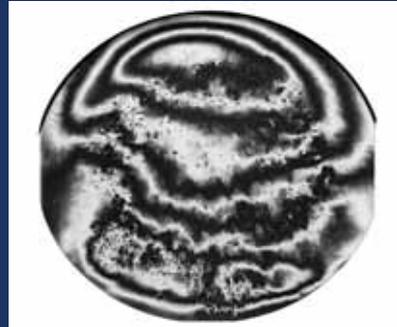
14

電子デバイス: 単結晶ウエハー等の結晶性評価

X線反射トポグラフィ(ヘルゲーバレット)法



X線エネルギー 11.94 keV
 視野 横15 mm、縦5 mm
 空間分解能 ~50 μm



SiC(0001)ウエハーのトポ像
 11 $\bar{2}$ 8反射
 ウエハーの反り, マイクロハイク

隅谷和嗣, 他: 2007年度研究成果報告会



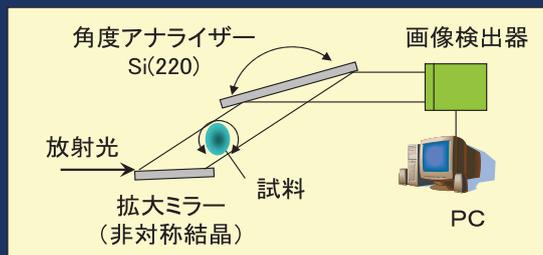
© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

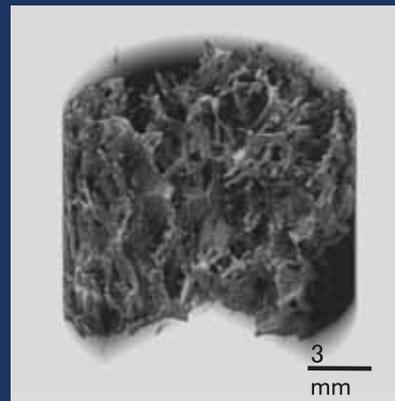
15

ソフトマテリアル: 三次元非破壊内部観察

X線回折強調イメージング法



X線エネルギー 13.75 keV
 視野 横15 mm、縦5 mm
 空間分解能 ~50 μm
 CT測定時間 ~4時間



アクリル発泡材料
 三次元像観察結果

<バイオメディカル>分野の観察手段としても有用

米山明男, 他: 2007年度研究成果報告会



© Kyushu Synchrotron Light Research Center

2008/03/12 シンクロトロン放射光とナノテクノロジー

16

地域産業(主に県試験研究機関)

- 有田焼の発色メカニズム解明(柿右衛門の赤, 青磁の青)
(窯業技術センター)
XAFS法による金属元素の状態分析→焼成プロセス

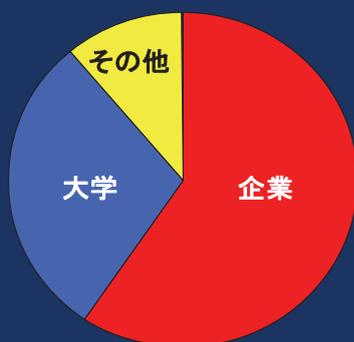


白石敦則, 他:2007年度研究成果報告会

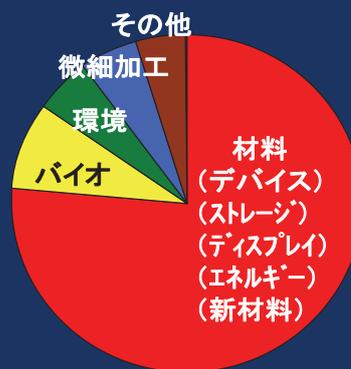


利用状況(2007/04 - 2008/03)

ユーザー所属



ユーザー利用分野



年度	実施課題数	実施時間数 (hrs)
2006	44	665
2007	94	1530

