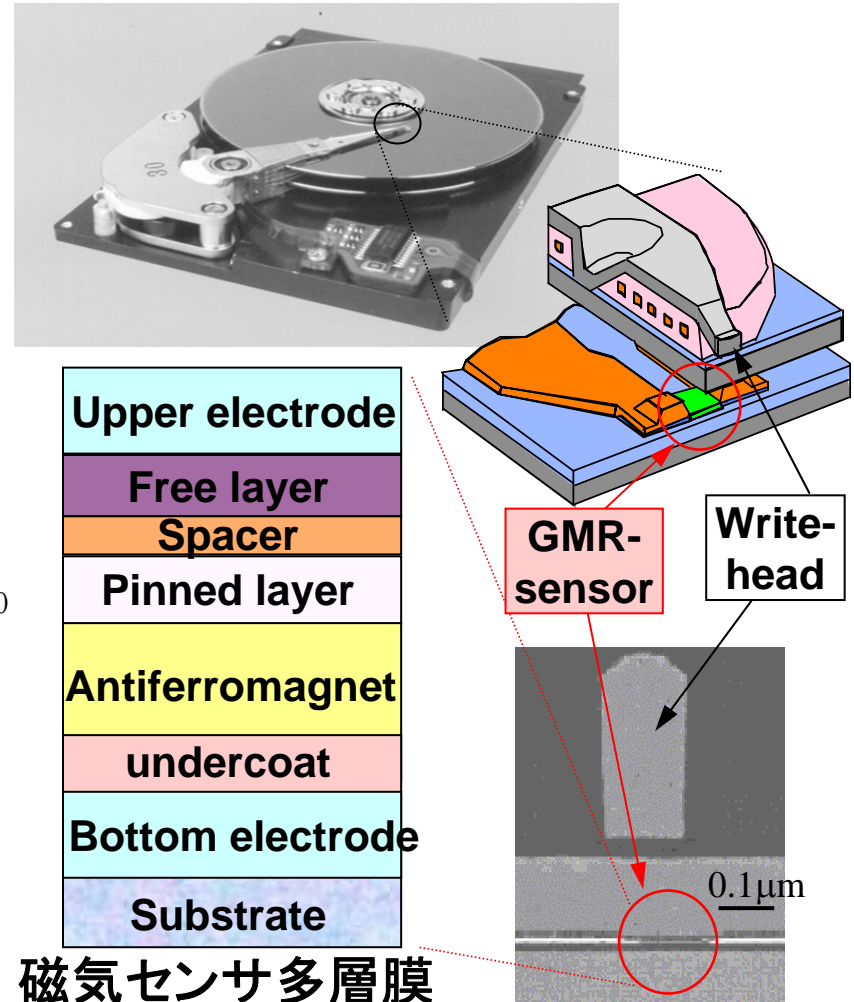
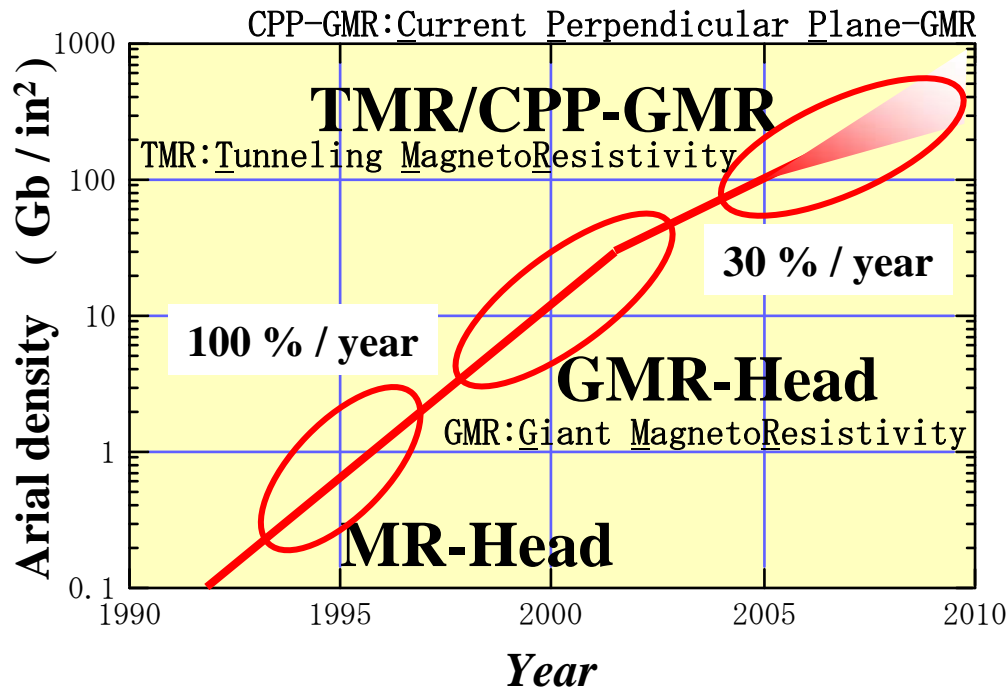


Background



年率30%の高記録密度化

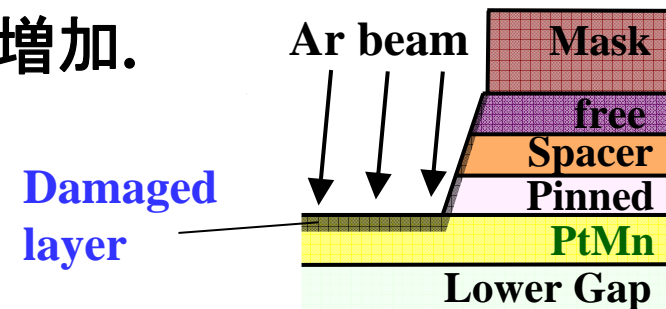
磁気センサの高感度化と微細化

Motivation

- 高記録密度化→磁気センサの微小化 (Magnetic head, MRAM, etc.)

→ 素子形状に占める加工端領域の増加.

→ Arエッチングによる素子加工時の
ダメージが大きな問題.



- NiFeに関するエッチングダメージの報告^[1]はあるが、他の磁性材料や反強磁性材料に関する報告はない。

[1] S. D. Kim, J. J. Lee, S. H. Lim and H. J. Kim, J. Magn. Soc. Japan 23, 255(1999).

- 反強磁性材料は磁気センサの高感度化において重要な材料。

微細な磁気センサを作る上で、PtMn反強磁性層のエッチングダメージの詳細を知ることは重要である。

Sample

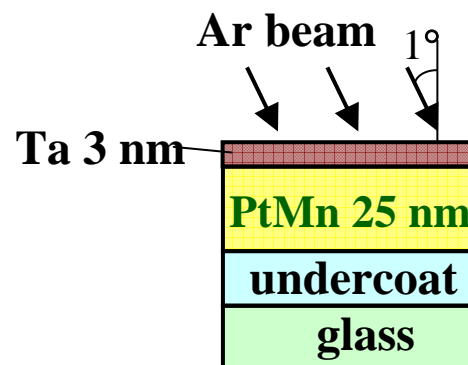
➤ 試料膜構成

ガラス / 下地膜 / PtMn 25 nm / Ta 3 nm : DC スパッタリング
(250°C, 9時間 熱処理)

➤ Arビーム照射条件

イオンビームエッチング (Ion Beam Etching) 装置

- Arビーム入射角 (θ) : 1°
- 加速電圧 (V_{acc}) : 100 – 425 V
- PtMn膜のエッチング量 (d_{etched}) : 2.9 – 18.0 nm

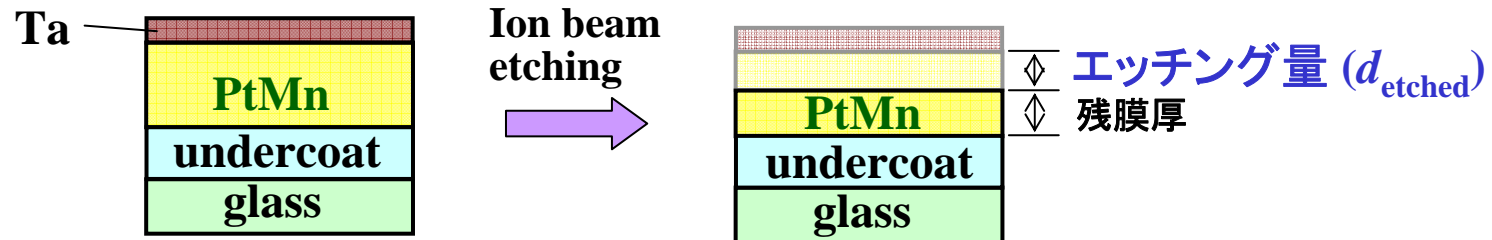


Examination

➤ 構造解析

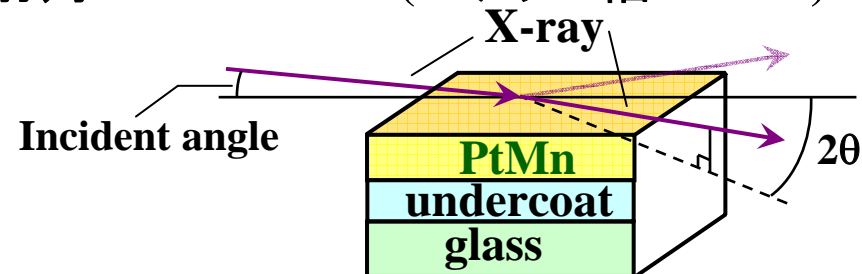
- 膜厚 (エッチング量)
- Pt Mn 組成

}: 蛍光X線解析

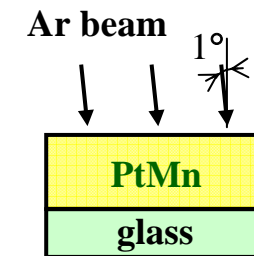
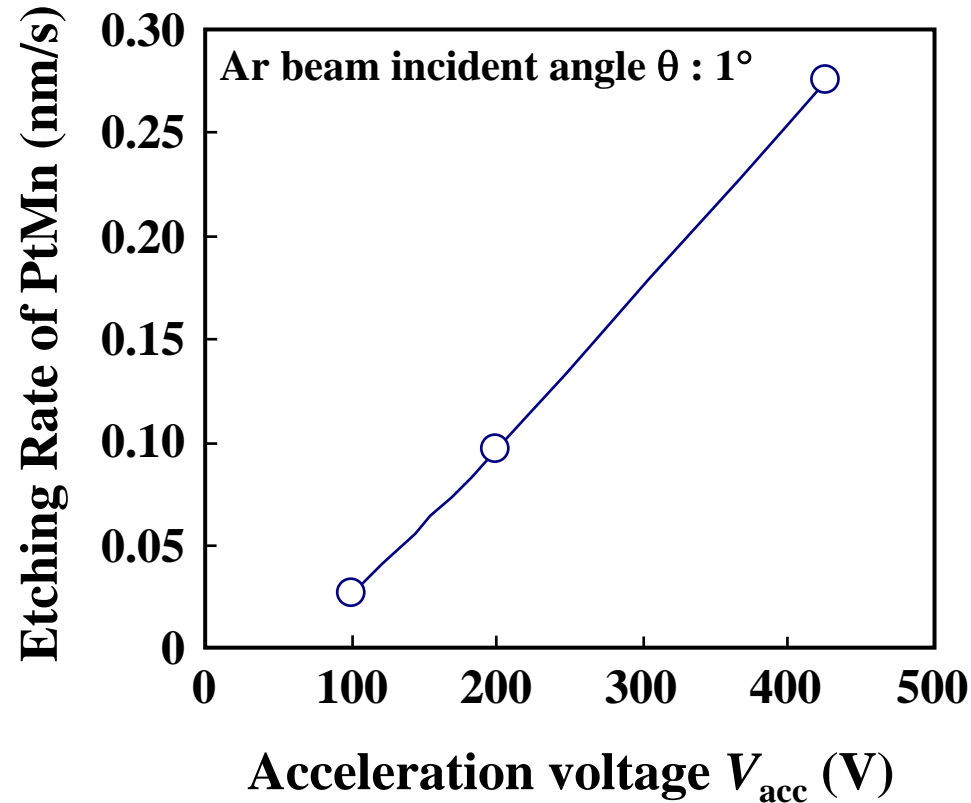


• PtMn結晶構造解析

- 放射光利用 斜入射面内X線回折法
- X線波長 : 0.100 nm
- 入射角 : 0.03 – 0.5° (ステップ幅: 0.01°)

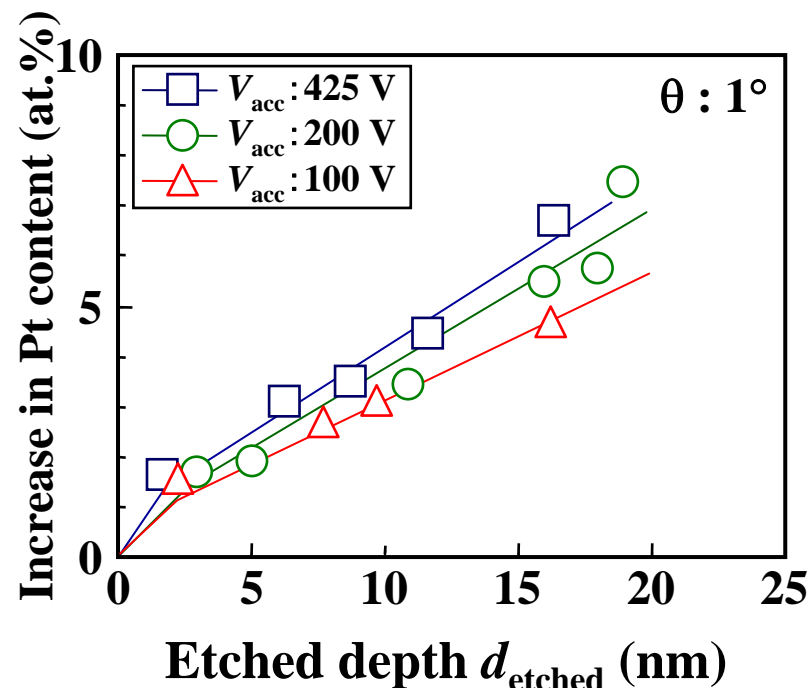
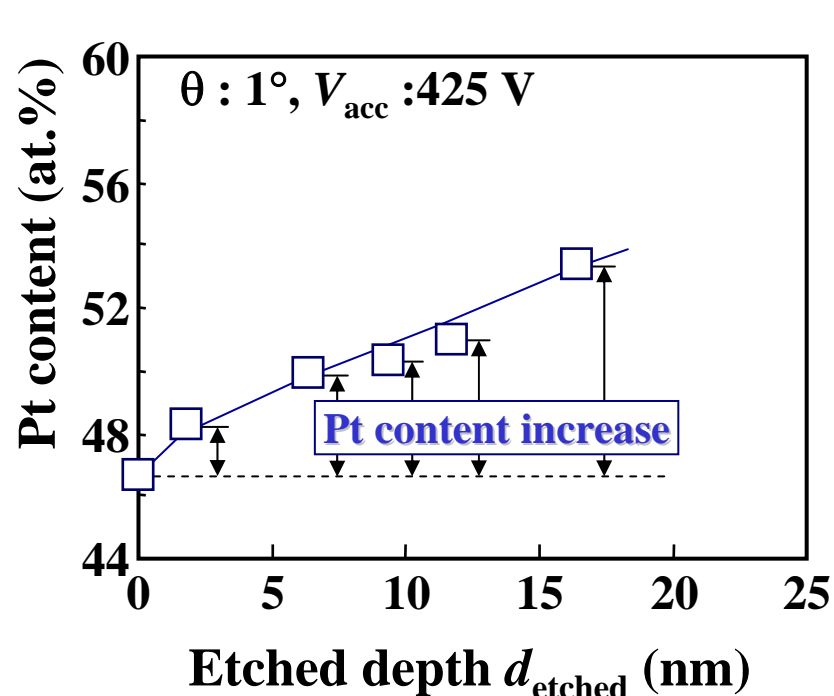


Etching Rate vs. V_{acc}



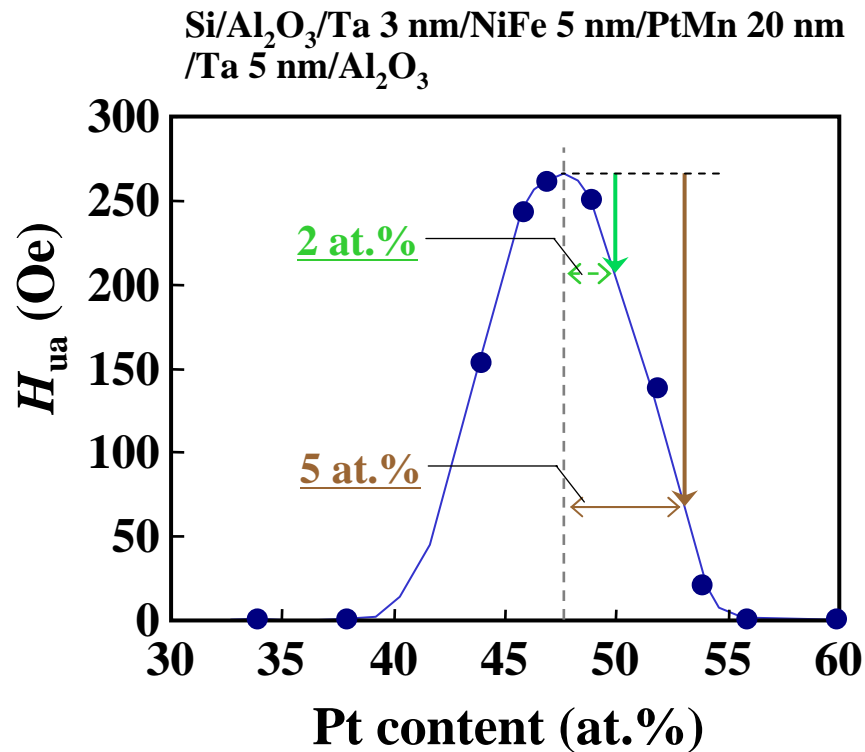
PtMnのエッチング速度は Arイオンの照射加速電圧 (V_{acc}) に比例。
この傾向は、他の金属材料と同じ。

Damage 1 : Increase in Pt Concentration



Arエッチングにより, PtMn膜のPt濃度が増加。
 エッチング量 (d_{etched}) の増加と共に, Pt濃度も増加。
 加速電圧 (V_{acc}) とPt濃度の増加との相関は小さい。

Influence on Magnetic Property



PtMnの磁気特性(H_{ua})の高い
Pt濃度範囲は狭い



最適値よりPt濃度が2 at.% 増加

→ H_{ua} は最大値の75%に低下.

最適値よりPt濃度が5 at.% 増加

→ H_{ua} は最大値の25%に低下.

M. Saito et al.: J. Magn. Soc. Japan 21, 505(1997).

Pt濃度の増加はPtMnの磁気特性を急激に低下させる

In-plane X-ray Diffraction

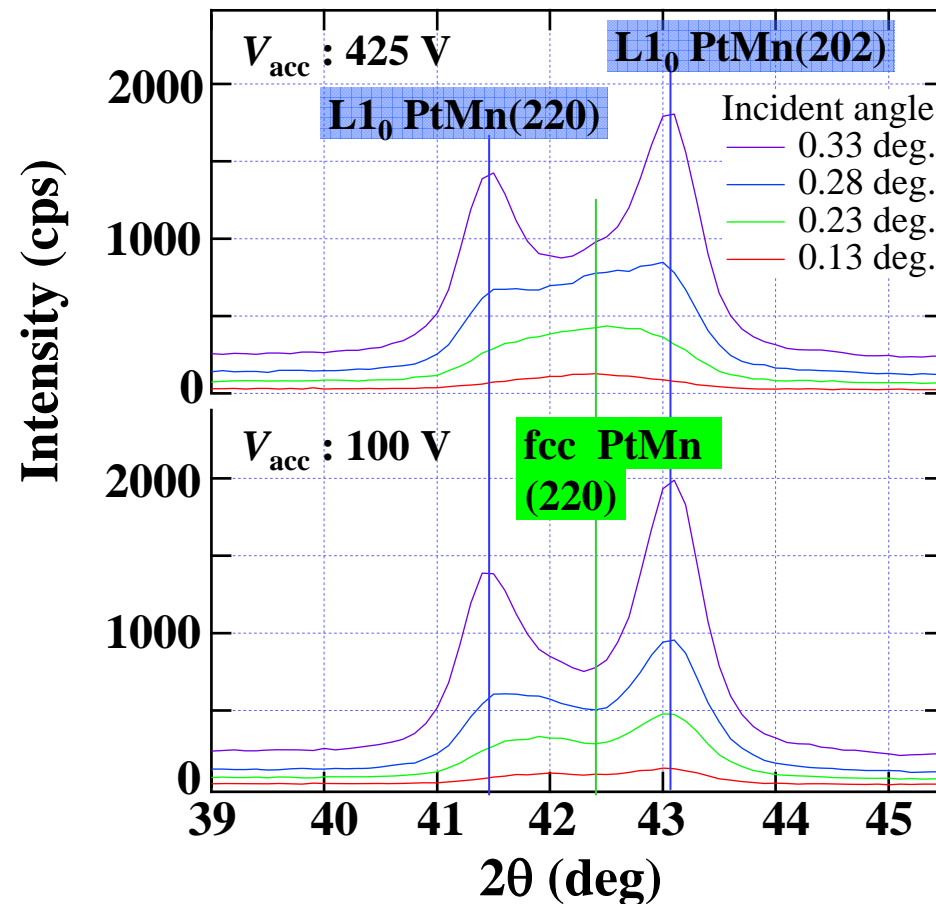
PtMnへのX線の侵入深さを制御して、**a軸とc軸の格子定数**、**不規則相 (fcc) / 規則相 (L1₀) の存在比**を測定。

エッチング量 (d_{etched}) 依存性

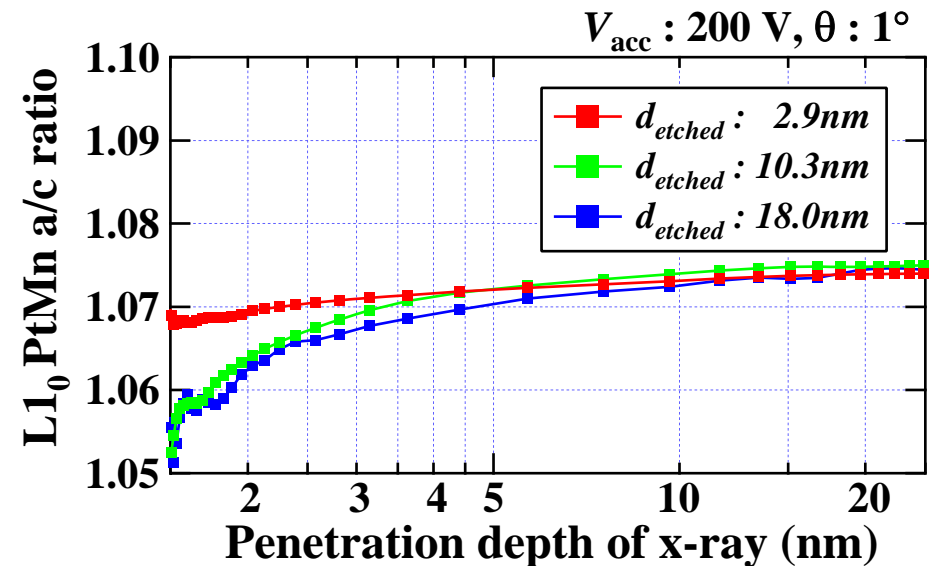
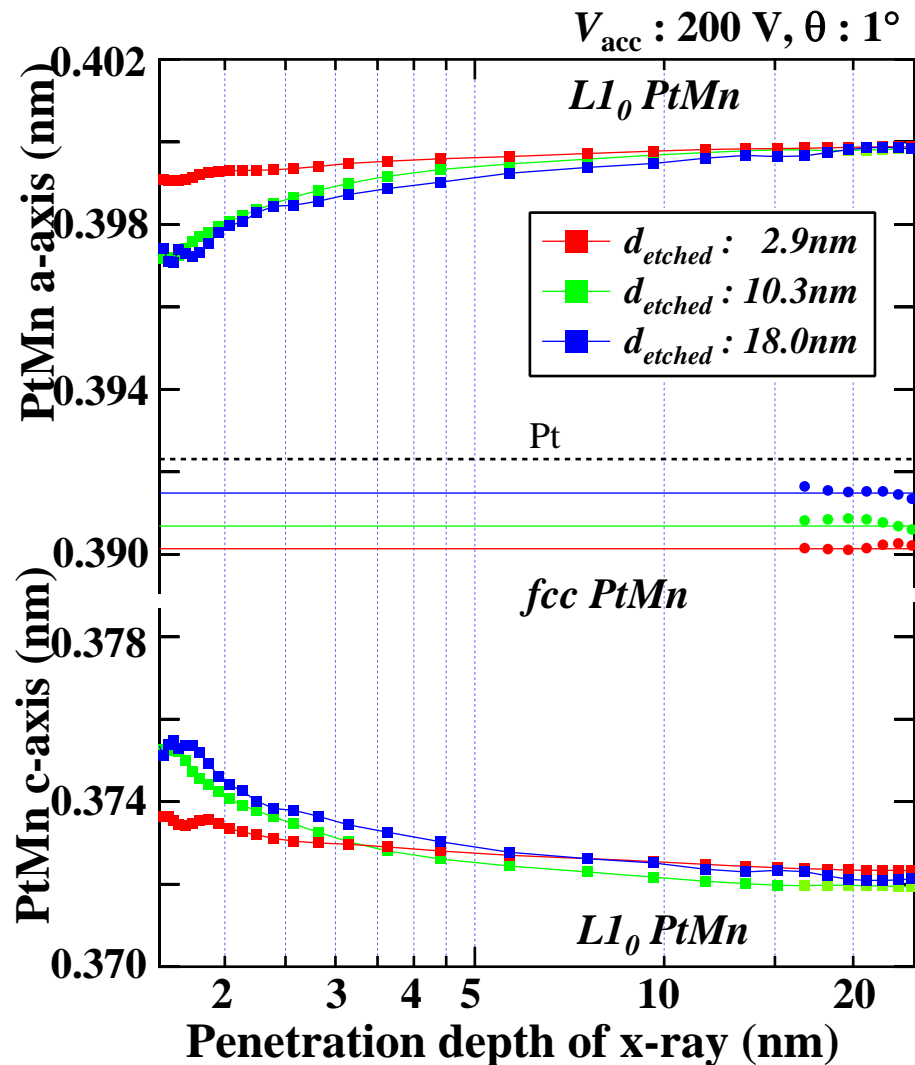
V_{acc} (V)	d_{etched} (nm)
200	2.9
	10.3
	18.0

加速電圧 (V_{acc}) 依存性

V_{acc} (V)	d_{etched} (nm)
100	≈ 10
200	
425	

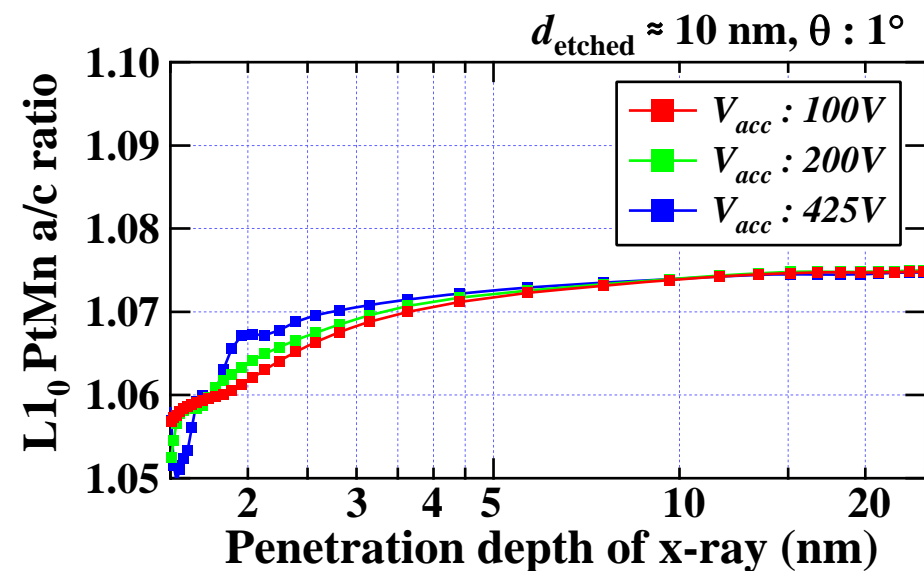
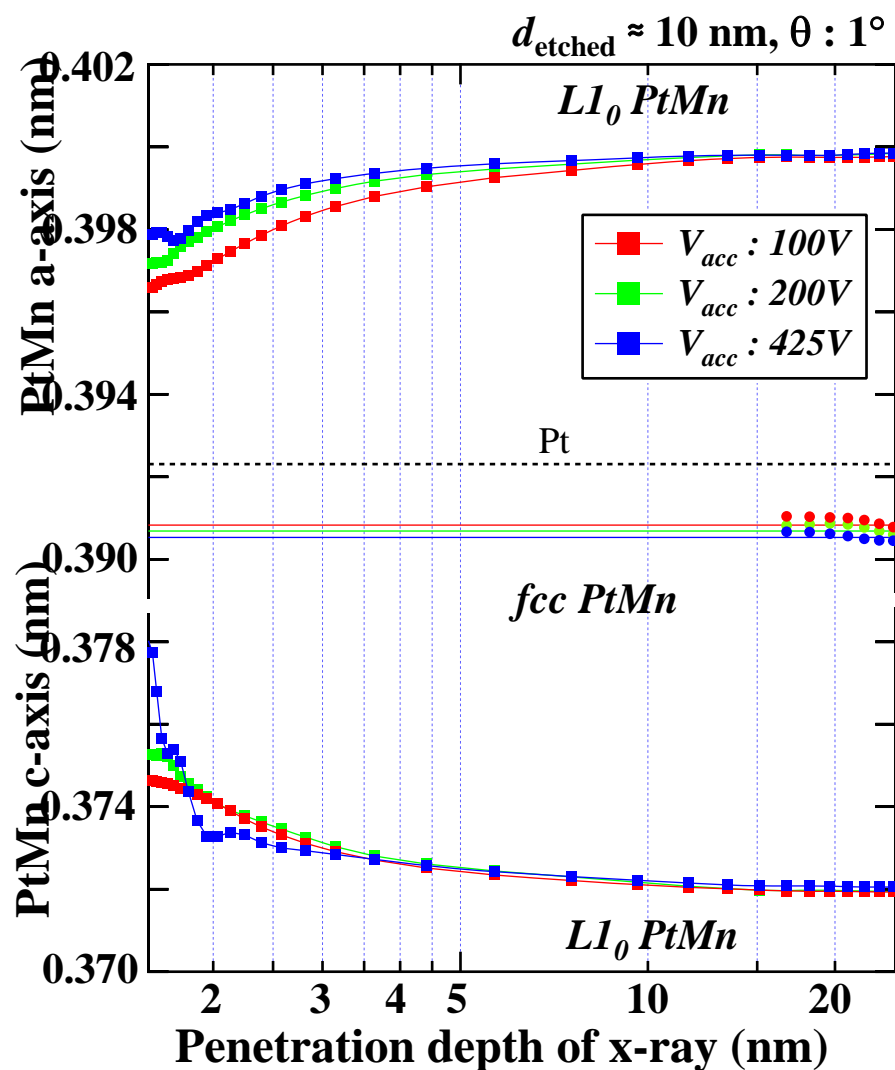


PtMn Lattice Parameters – d_{etched} depend.



- エッチング量 (d_{etched}) を増加させると、
 - 表面付近の方が、a軸の長さは短かった。
 - 表面付近の方が、c軸の長さは長かった。
 - PtMn不規則相のa軸の長さはPtの格子定数に近くなった。
 - PtMn規則相のa/c比は小さくなった。
- エッチング量 (d_{etched}) の小さい試料の方が、エッチング量の大きな試料より、エッチングダメージが少ない。

PtMn lattice parameters – V_{acc} depend.



- 加速電圧 (V_{acc}) を増加させると、
 - 表面付近の方が、**c軸の長さが長くなった。**
 - 表面付近の方が、PtMn規則相の **a/c比は小さくなった。**
- 加速電圧 (V_{acc}) を減少させると、
 - 表面付近の方が、**a軸の長さが短くなった。**
- 加速電圧 (V_{acc}) が大きいほど、表面付近に大きなエッチングダメージを与え、加速電圧が小さいほど、深くまで歪んでいる。

Damage 2 : Lattice Distortion and its Cause

➤ PtMn層格子歪の原因

- 1) Pt濃度の増加 (Pt : fcc, $a=0.3924$ nm)
- 2) PtMn L1₀構造(規則相)が損傷を受け, fcc構造(不規則相)が形成される.
(規則相 : L1₀(正方晶.), $a/c > 1 \rightarrow$ 不規則相 : fcc, $a=0.3893$ nm, $a/c=1$)

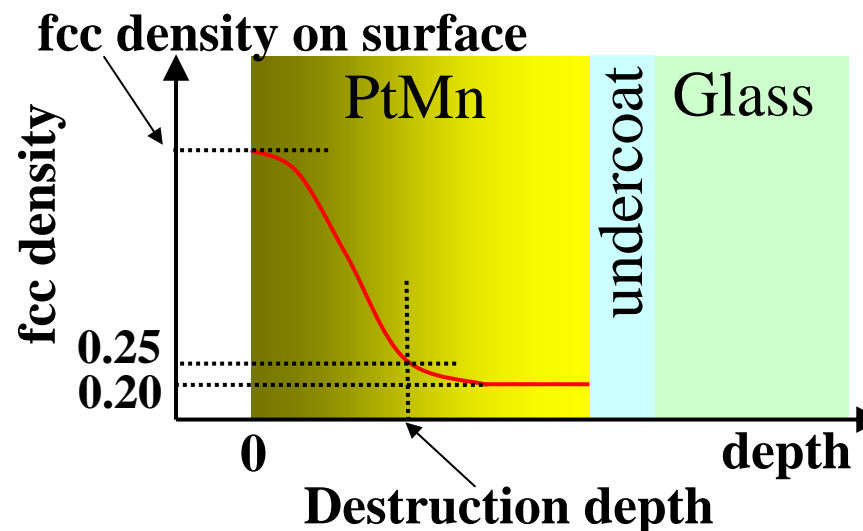
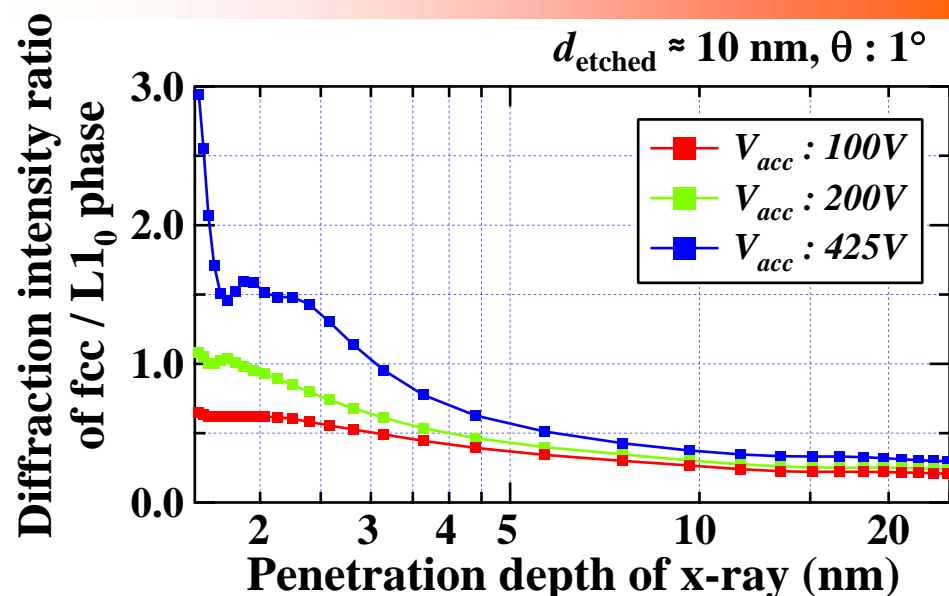
➤ Pt濃度と格子定数の解析結果

	V_{acc} (V)	d_{etched} (nm)	Increase in Pt (at.%)	Lattice const. c (nm)
Cond.-1	200	18.0	7.6	0.3755
Cond.-2	425	8.4	4.5	0.3780

Cond.-2の, c 軸の伸びは”Pt濃度の増加”だけでは説明できない。

高加速電圧条件における格子歪は,
“PtMn規則相が壊された”ためと考えられる。

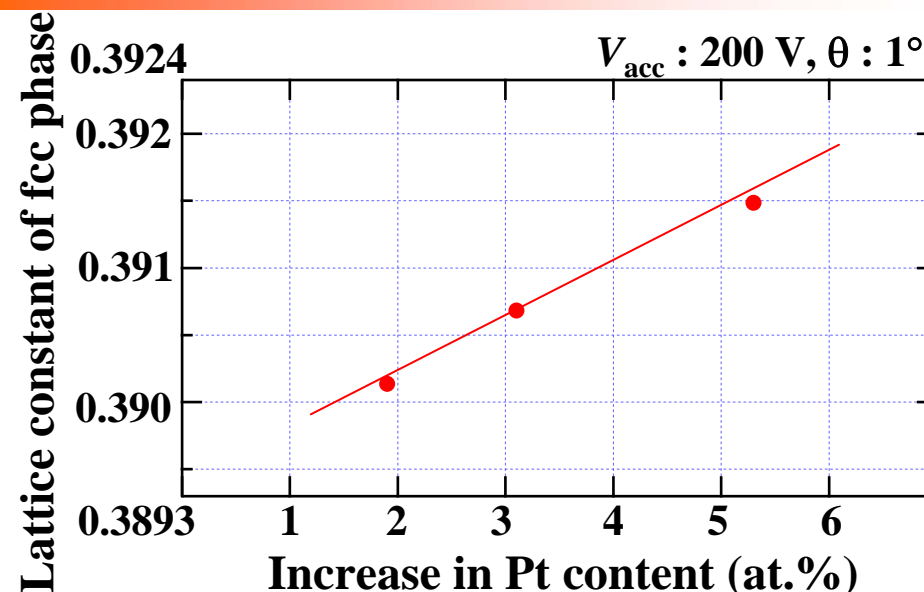
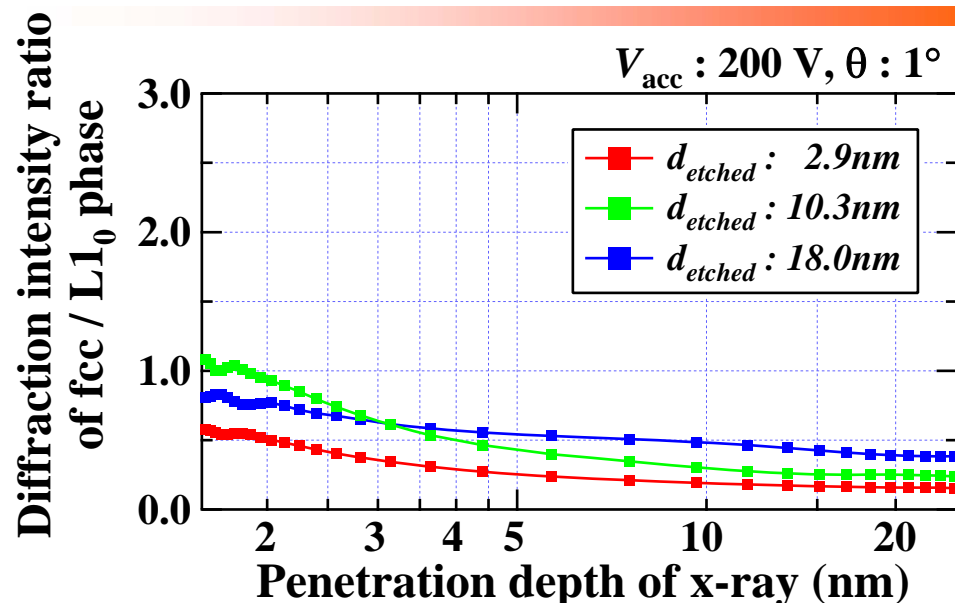
Structural Alteration from L1₀ to fcc – V_{acc} depend



	V _{acc}		
	100V	200V	425V
fcc density on surface	31%	53%	95%
Destruction depth	2.0nm	1.6nm	1.2nm
fcc lattice constant(nm)	0.3905	0.3907	0.3908
Increase in Pt content	2.8at.%	3.1at.%	3.0at.%

- 加速電圧 (V_{acc}) を増やすと,
 - fcc/L1₀比は表面付近で増大した。
 - ダメージ深さは1.5nm程度である。
- 加速電圧 (V_{acc}) が小さい試料の方が, 大きな加速電圧でエッチングした試料より, PtMnに与える不規則化ダメージは, 小さい。

Structural Alteration from L1₀ to fcc – d_{etched} depend



	d_{etched}		
	2.9nm	10.3nm	18.0nm
fcc density on surface	51%	53%	41%
Destruction depth	1.5nm	1.6nm	8.3nm
fcc lattice constant(nm)	0.3901	0.3906	0.3915
Increase in Pt content	1.9at.%	3.1at.%	5.3at.%

- エッチング量 (d_{etched}) を増やすと、
 - fcc/L1₀比は表面付近で若干増加した
- エッチング量 (d_{etched}) が小さい試料も大きな試料も、不規則化ダメージに差はない。
- エッチング量 (d_{etched}) が小さい試料の方が大きな試料よりも、Pt濃度増大ダメージは少ない。

Summary

- 低エネルギーArビームをPtMn層に照射すると、2種類の構造ダメージが発生することが分かった。
 - 1) Pt濃度の増加
 - 2) $L1_0$ 構造(規則相)がfcc(不規則相)に構造変化
- エッチング量(d_{etched})を増加させると、Mn濃度が低下する、MnのエッチングレートがPtと比較して大きいこと。
- 高加速電圧(V_{acc})エッチングは、エッチング量(d_{etched})が多い場合より、PtMn規則相($L1_0$ 構造)を壊し、不規則相(fcc構造)にする。
- 構造ダメージの深さは約1.5nmであること。