

19素子SSDSを用いたAsドーパントの高感度XAFS測定

(株)東芝 研究開発センター 高石 理一郎

半導体中のキャリア濃度を左右するドーパントの制御は、MOSFETを作製する上で必要不可欠な技術である。Si中でドーパントが活性化しているか否か、また不活性化のメカニズム解明は重要な課題として挙げられ、代表的なドーパントであるAsのSi中における振舞いを分析することはその解決への糸口を探ることに繋がる。そこで今回、Si中に注入されたAs原子が濃度に対してどのように振舞うか、19素子SSDを用いたXAFS測定により調査を行った。用いた試料はAs濃度が $3 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 、 $2 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、 $5 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 、 $5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ であり、注入加速電圧10 keVのas-impla試料である。測定の際には試料配置の最適化と、19素子SSDを用いたX線取り込み角増大によって従来よりも高感度な測定を進めた。

図1に各試料に対してAs-K XAFS測定を行った結果を示す。 $5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ という極めて低濃度の試料でも明瞭にEXAFS振動が確認できる。濃度の減少に伴って振動構造は変化しており、Asドーパントの格子位置が変化することを見出した。

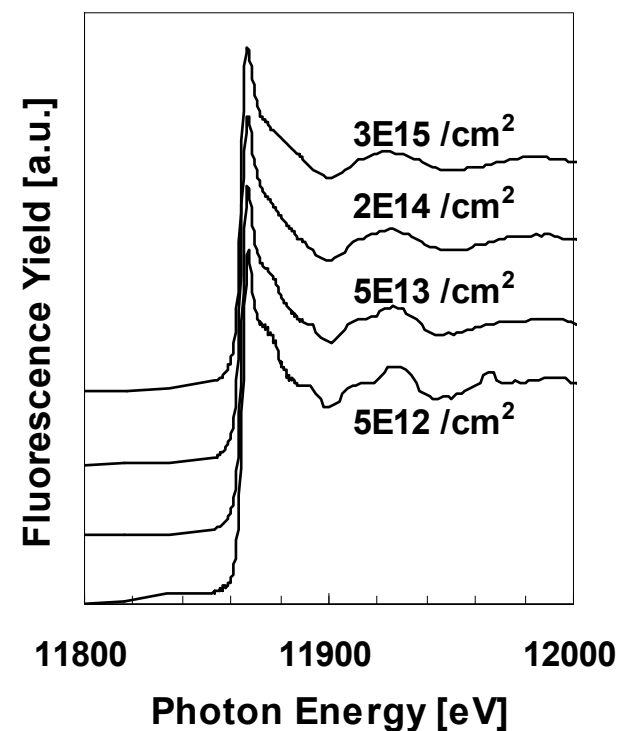


図1. As-K XAFS測定結果

TOSHIBA

Leading Innovation >>>

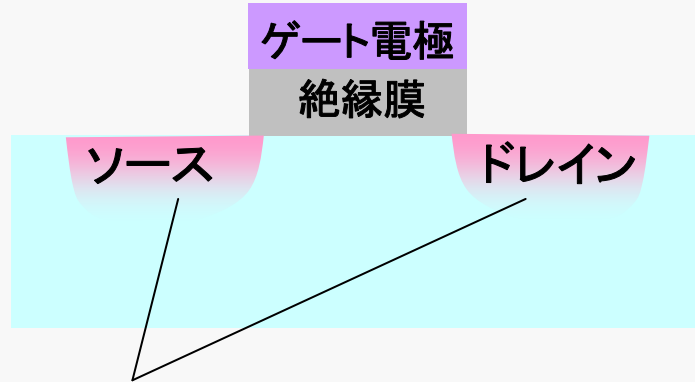
19素子SSDを用いた Asドーパントの高感度XAFS測定

(株) 東芝 研究開発センター LSI基盤技術ラボラトリー

高石理一郎、吉木昌彦

背景

MOSFETのキャリア注入



Asなどの不純物原子を高濃度に注入後、活性化させることでキャリア密度を調整。

ドーパント原子の不活性化

不純物濃度を上げていくと、注入量を増やしてもキャリアが増大しにくくなる。

ドーパントの電気的不活性化



不活性化のメカニズムは？

メカニズムの解明には...

XAFS測定を各種Asドーパント濃度に対して行い、As原子周辺の局所構造を分析。

低濃度
大半のドーパントが活性。

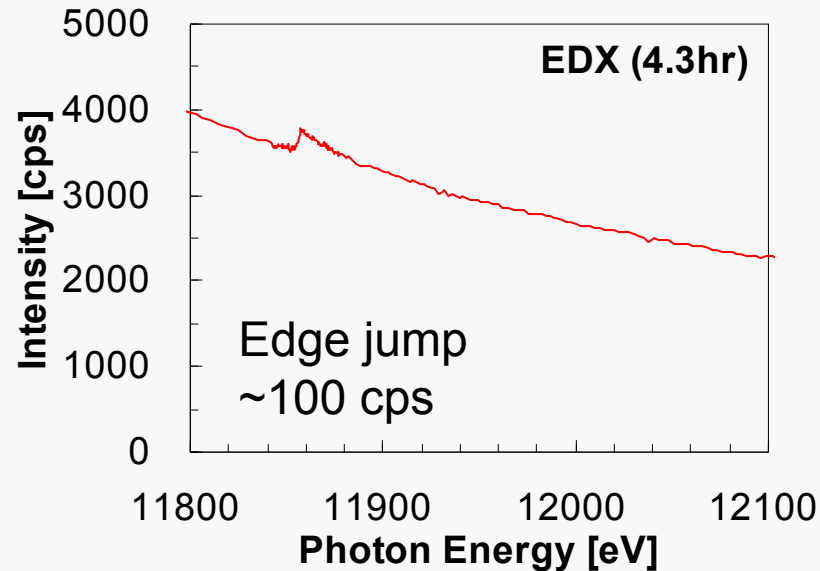


高濃度
不活性種が表れてくる。

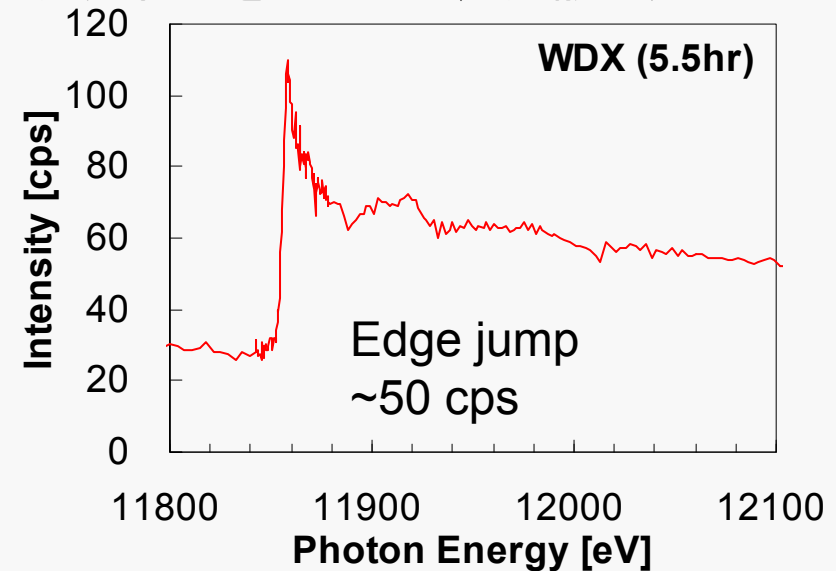
従来測定の問題点と本研究の目的

従来手法によるAs = 5×10^{12} /cm²試料のXAFSスペクトル

■ SDDを用いたエネルギー分散測定



■ 分光結晶を用いた波長分散測定



低濃度試料に対しては高感度な測定法を検討する必要がある。

目的

- 19素子SSD使用によるAs-K α の取り込み角増大
- 試料配置最適化

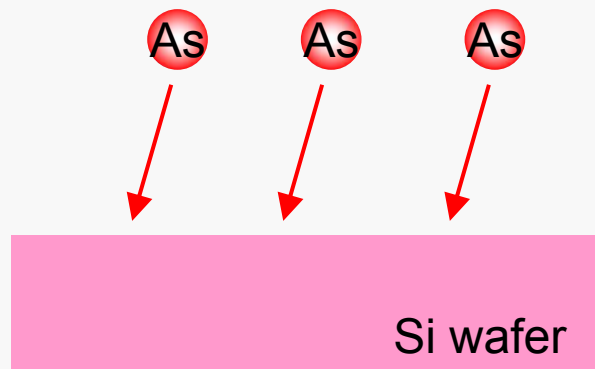


測定の高感度化

実験

試料

■As注入Si



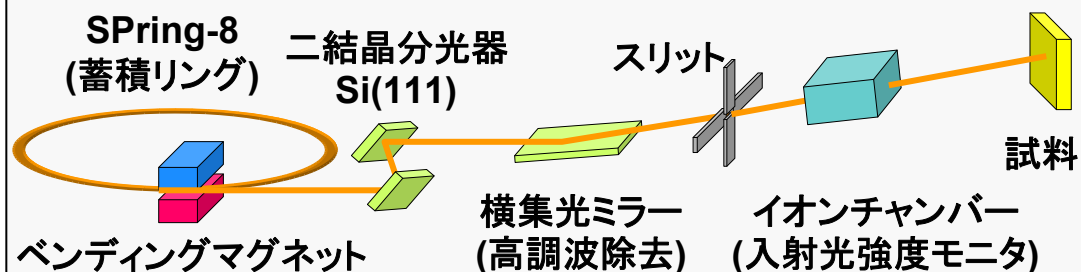
- 注入加速電圧10 keV
- as-impla

As 濃度 [cm^{-2}]

- 1) 3×10^{15}
- 2) 2×10^{14}
- 3) 5×10^{13}
- 4) 5×10^{12}

測定条件

■ビームライン : SPring-8 BL16B2
(産業用専用ビームライン)



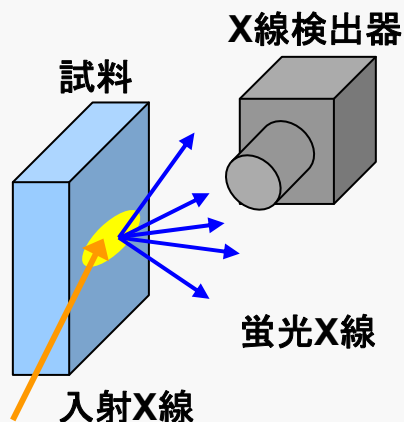
■測定エネルギー : As-K吸収端 (11.9 keV)

■X線検出器 : Canberra社製 高純度Ge-19素子
Solid State Detector (19素子SSD)

19の検出素子を並べることで取り込み角増大

19素子SSDによる取り込み角増大

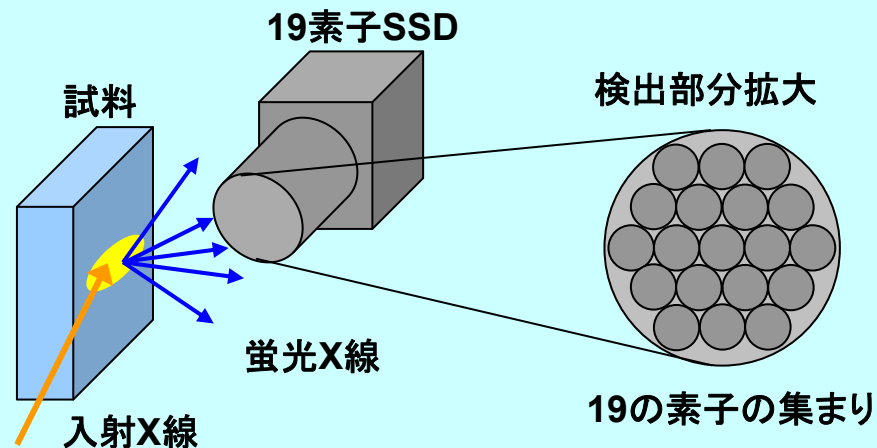
従来の検出器では・・・



- 検出部分が小さい。
- 取り込み角増大を狙って、検出器を試料に近づけすぎると飽和してしまう。

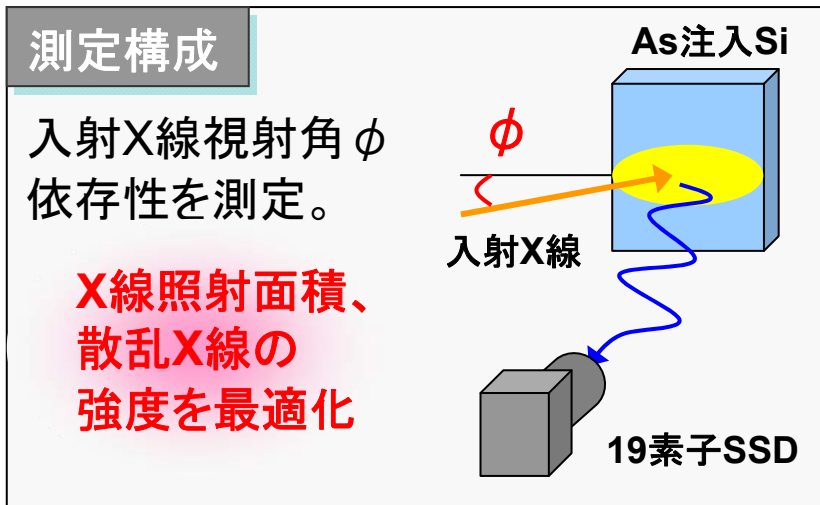
高輝度という放射光の
メリットを生かしきれない。

19素子SSDを使うと・・・



- 検出部分が大きいいため試料にそれほど近づけなくとも、蛍光X線の取り込み角増大を狙える。
- 小さな素子の集まりであるため、1素子あたりに入るX線強度は抑えられる。
→飽和しにくい。

試料配置最適化 (1) X線視射角依存性



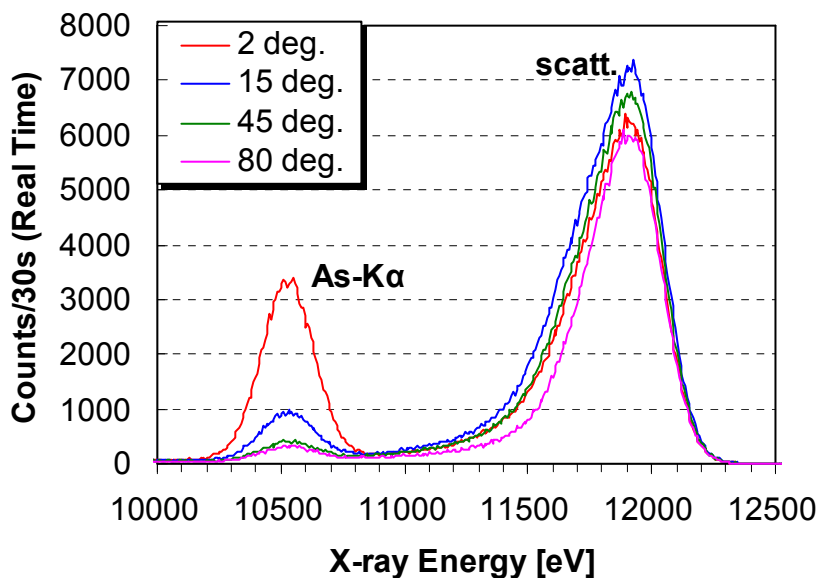
低角にするに伴い、

- As-K α 強度増大
- 全信号に対するAs-K α 強度の比率増大

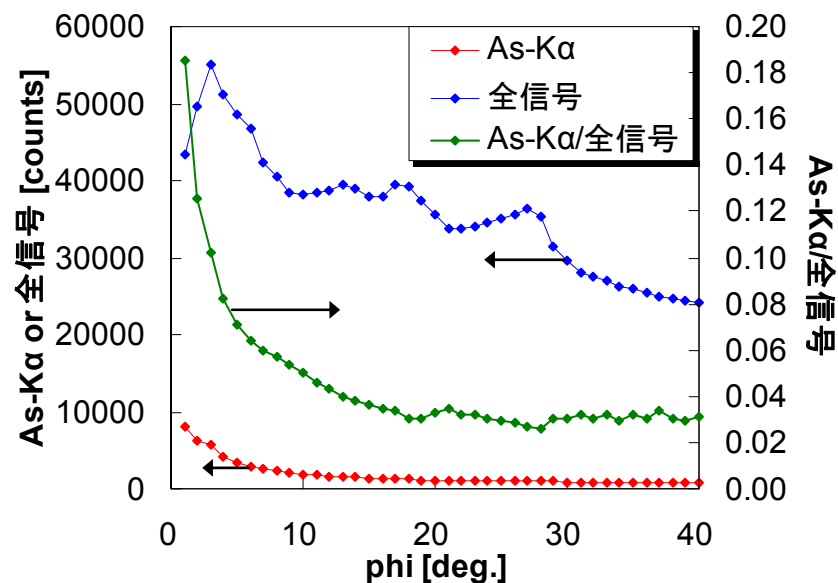


できるだけ低角側が好条件。

■As蛍光X線スペクトル



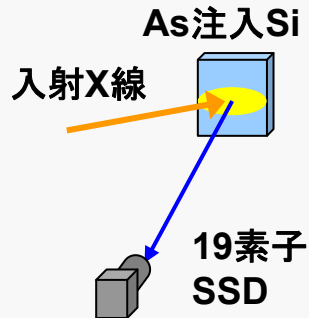
■As-K α ・全信号強度及びその比



試料配置最適化 (2) フィルター導入

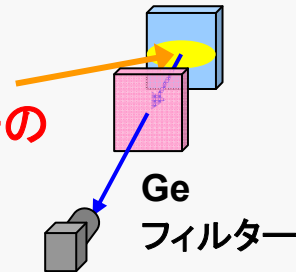
測定構成

■ 直接検出



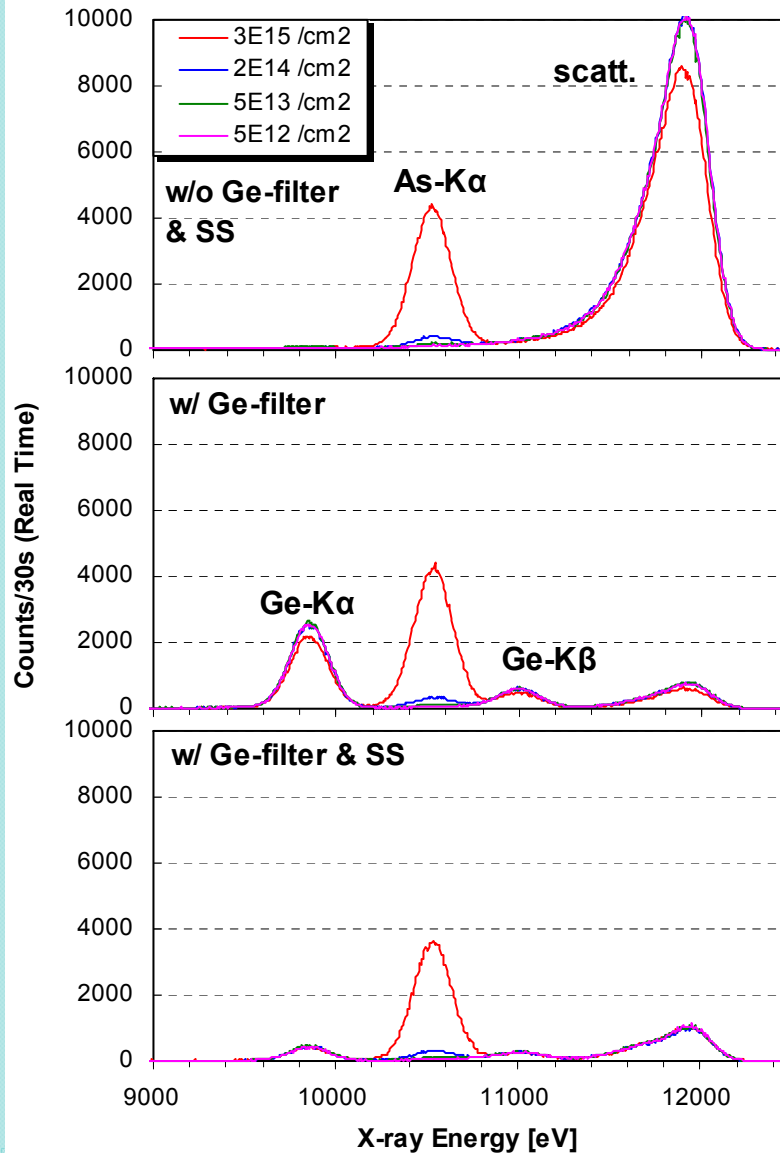
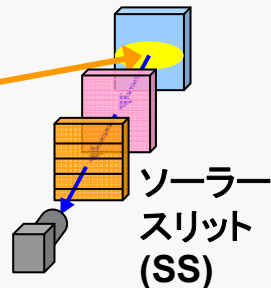
■ Geフィルター導入

As-K α より
高エネルギーの
信号を低減



■ Geフィルター & SS導入

Geフィルター
からのGe蛍光
X線を除去



As蛍光X線 スペクトル

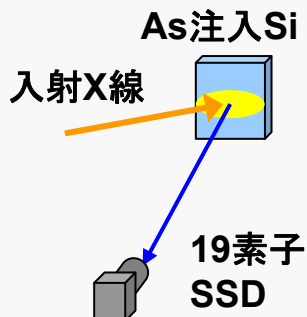
散乱X線が大きく
減少し、Geの蛍
光X線が現れる。
全信号に対する
As信号強度増大。

Geの蛍光X線が
減少。
エネルギーの近
いAs-K α とGe-Kを
分離。

試料配置最適化 (2) フィルター導入

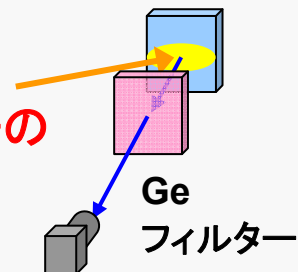
測定構成

■ 直接検出



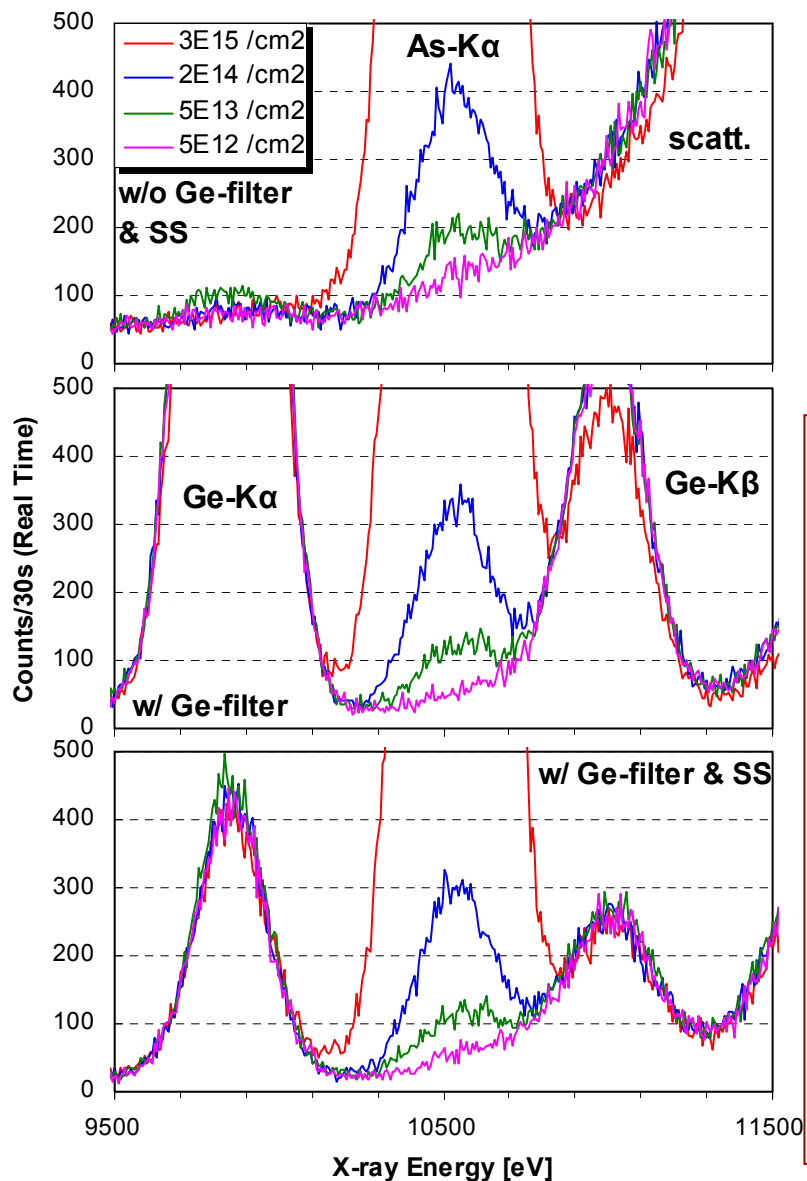
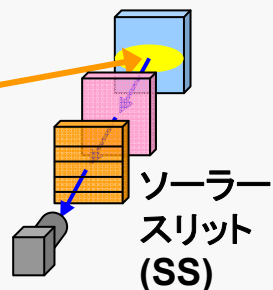
■ Geフィルター導入

As-K α より
高エネルギーの
信号を低減



■ Geフィルター & SS導入

Geフィルター
からのGe蛍光
X線を除去



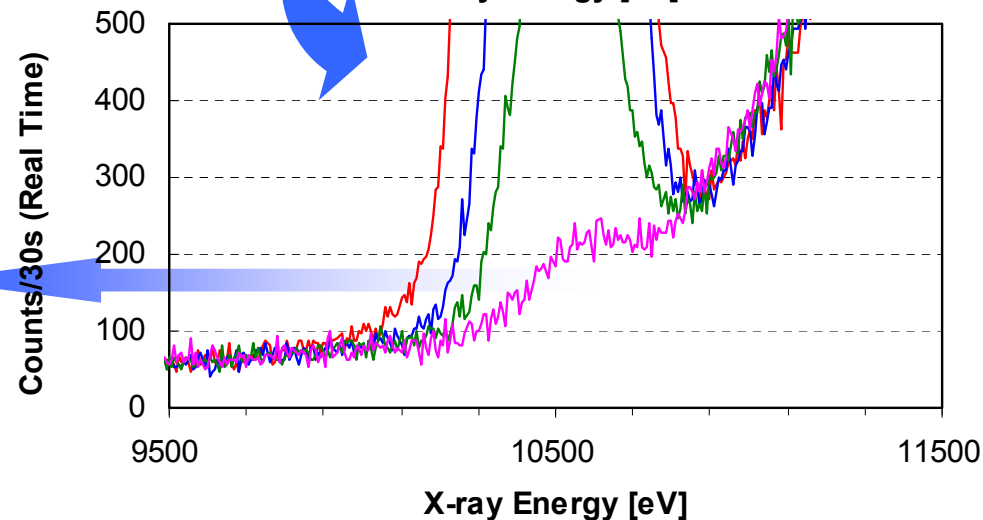
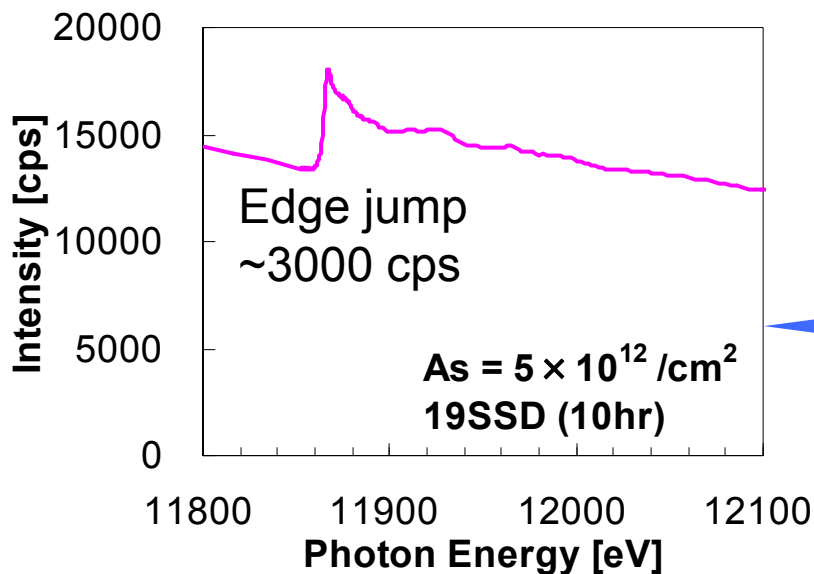
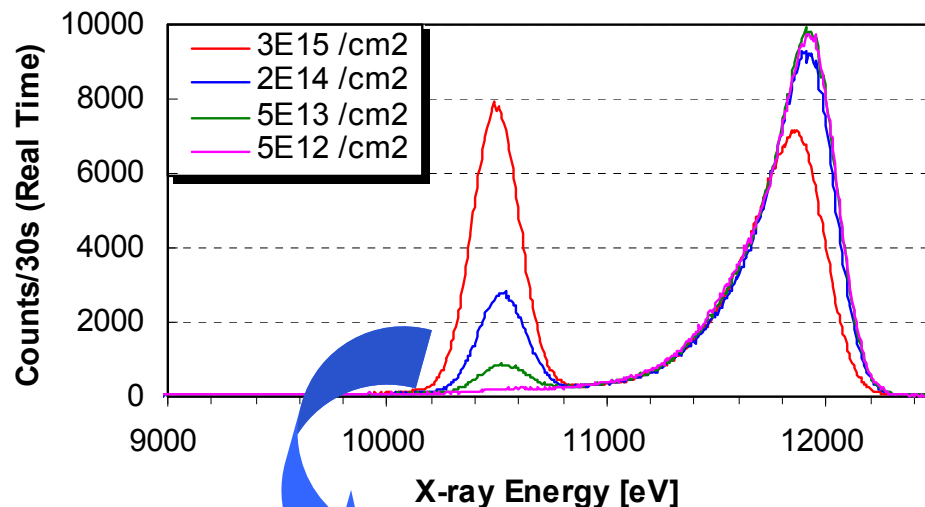
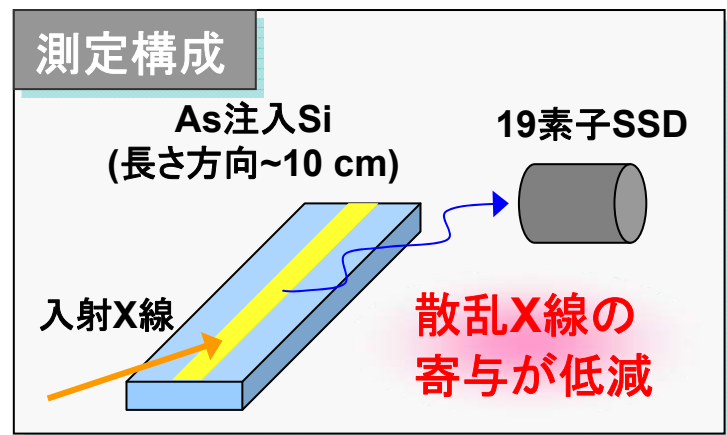
As蛍光X線
スペクトル
As-K α 拡大

Geフィルターからの
蛍光X線は、低
濃度試料を測る
際には大きな障
害となる。



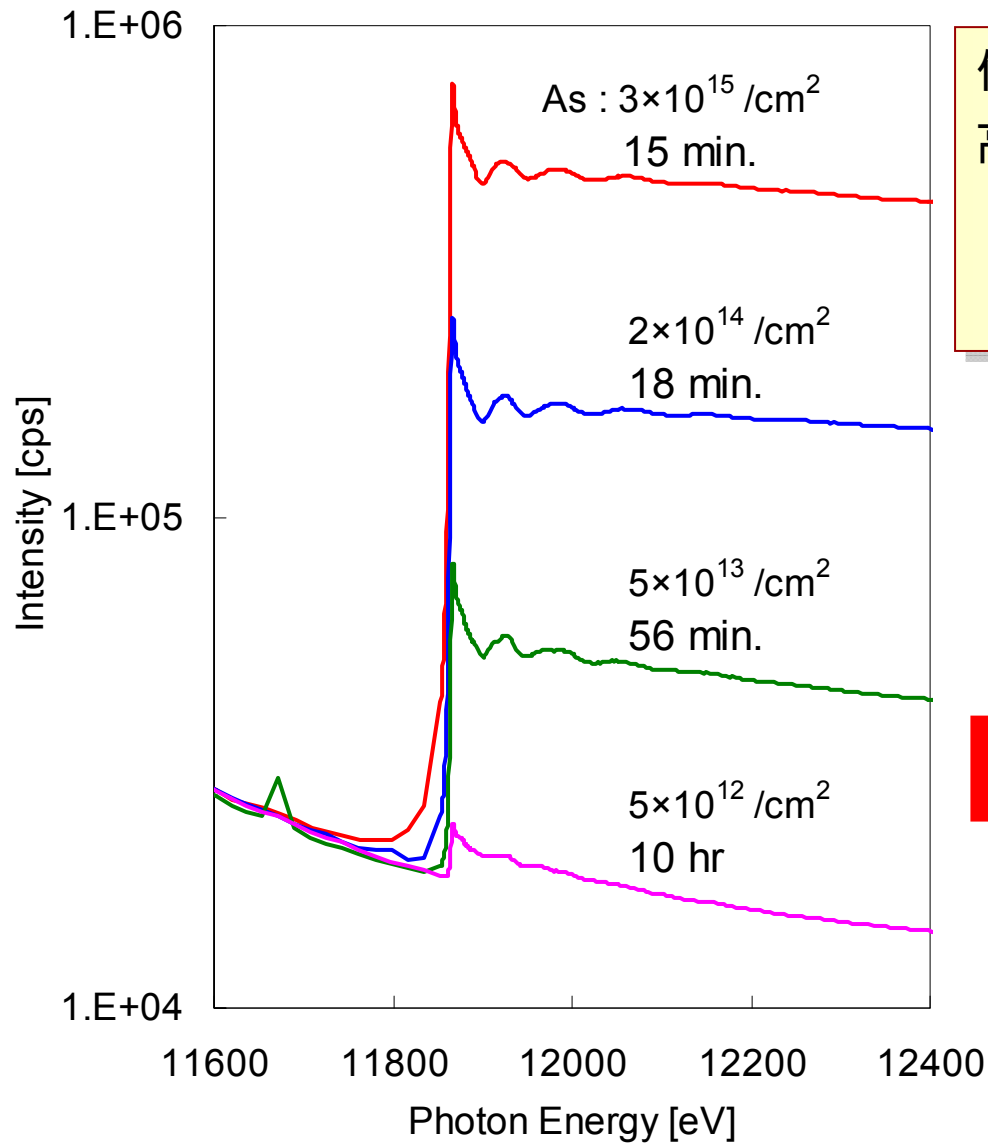
散乱X線のバック
グラウンドは大き
いが、フィルター
は使用しないこと
とした。

試料配置最適化 (3) 水平置き



As = 5×10^{12} /cm²の試料で約3000 cpsのAs-K edge jumpを達成。

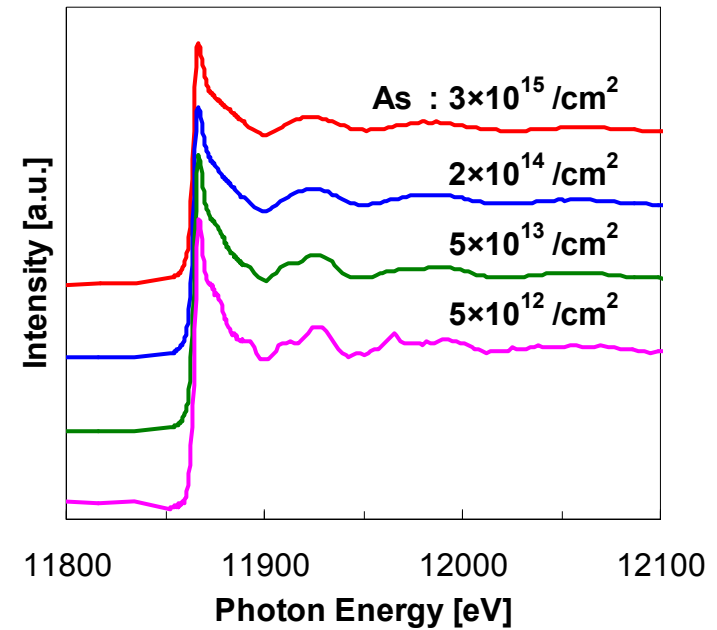
各As濃度のEXAFSスペクトル



低濃度試料 → 高感度検出
高濃度試料 → 測定時間短縮化

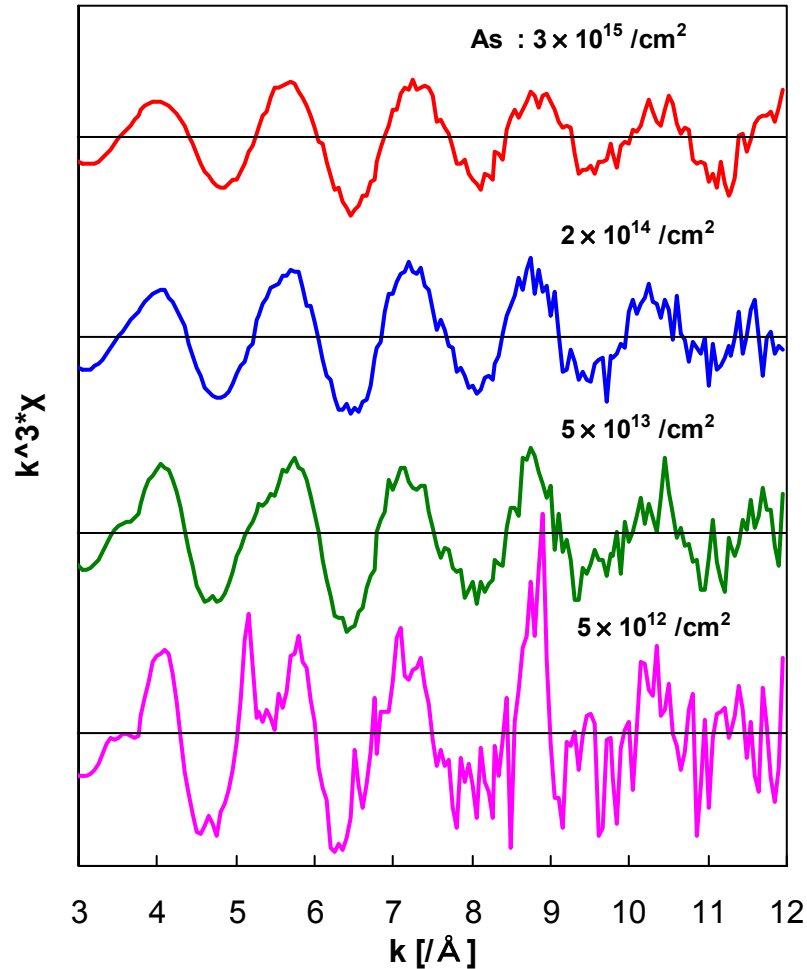
効率的なEXAFS測定が可能

■ 規格化したEXAFSスペクトル

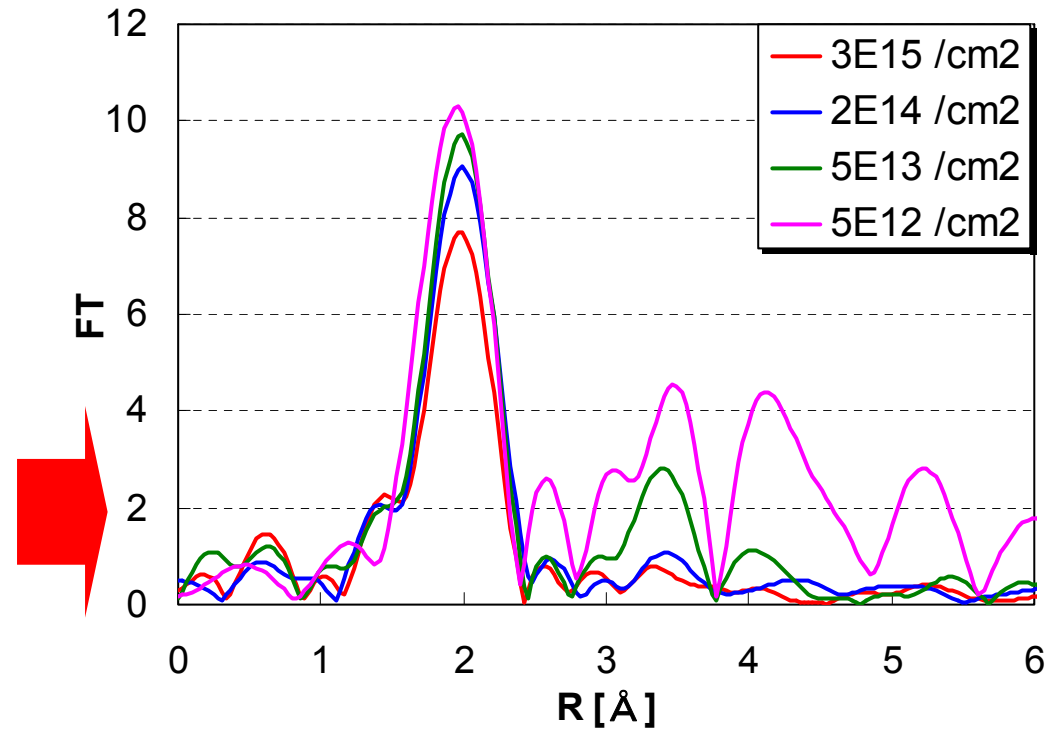


動径分布

■ χ - kカーブ



■ 動径分布



- $3 \times 10^{15} / \text{cm}^2 \sim 2 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ ではそれほど変化は無い。
- しかし、 $5 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ を下回ると振動構造に変化が見られるようになる。

まとめ

19素子SSDの使用と試料配置最適化を進めて、Asドーパントの高感度XAFS測定を行った。

- As = 5×10^{12} /cm²の試料に対し約3000 cpsのAs-K edge jumpを達成し、EXAFS解析可能なスペクトルを得た。
- 高濃度試料に対しても短時間でEXAFS測定が可能となった。
- As濃度に応じてAs周りの動径分布が変化する様子を観測した。

- 今後の展望 -

得られた知見を様々な試料の効率的測定へと適用する。