



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»



Предварительные результаты разработки  
поляризующего суперзеркала с флип отношением  
порядка  $FR=350$

А.Ф. Щebetов, А.А. Воробьев

Гатчина 14.12.2017

Что было уже известно к началу работы над поляризующим суперзеркалом **CoFe/TiZr** с повышенным флип отношением FR?

- Практически все составляющие успеха были известны, и работа является продолжением работы по совершенствованию метода поляризации нейтронного пучка отражением его от намагниченного зеркала и сводится к повышению поляризующей эффективности самого суперзеркала.
- Было известно:

- 1) Для получения высокой поляризации нейтронного пучка, отраженного от **однослойного зеркала CoFe** необходимо, чтобы ядерная плотность длины когерентного рассеяния была равна магнитной.  **$SLD_N = SLD_M$** .
- 2) В сплаве **70Co30Fe** наиболее точно выполняется условие  **$SLD_N = SLD_M$** .
- 3) Чем больше  **$SLD_N$** , тем больше критический угол отражения и тем больше светосила суперзеркала.

- 4) Намагниченность насыщения пленки **CoFe** меньше намагниченности монокристаллического материала.
- 5) Для увеличения поляризующей эффективности суперзеркала **CoFe/TiZr** необходимо уменьшение отражения нейтронов Down путем зануления величины

$$(SLD_N - SLD_M) \text{CoFe} - SLD_{\text{TiZr}} = 0,$$

что равнозначно

$$SLD_{\text{CoFe}} N = SLD_{\text{CoFe}} M + SLD_{\text{TiZr}}.$$

Т.к. величина  **$SLD_{\text{CoFe}} N = \text{Const}$** , сумма  **$SLD_{\text{CoFe}} M + SLD_{\text{TiZr}}$**  может меняться в результате изменения намагниченности пленки **CoFe** при изменении поля или изменения состава пленки **TiZr**.

6) Для увеличения светосилы поляризующего суперзеркала **CoFe/TiZr** отражением нейтронов  $U_p$  необходимо увеличивать разность между плотностью длины рассеяния ферромагнетика и плотностью длины рассеяния немагнитного материала  **$(SLD_N + SLD_M)CoFe - SLD_{TiZr}$** .

7) Значение **SLD** сплава **50Co50Fe** для нейтронов Up выше значения **SLD** сплава **70Co30Fe** при приблизительном равенстве **SLD** обоих сплавов для нейтронов Down.

В процессе работы изготавливались и испытывались монокроматоры и суперзеркала со слоями **TiZr** различного состава. Покрyтия с разной концентрацией элементов обеспечивалось использованием мишени **70Co30Fe** и **55Ti45Zr** с полосками **Fe** и **Zr**, закрепленными на них, что видно на рисунках Рис 1 и Рис 2.

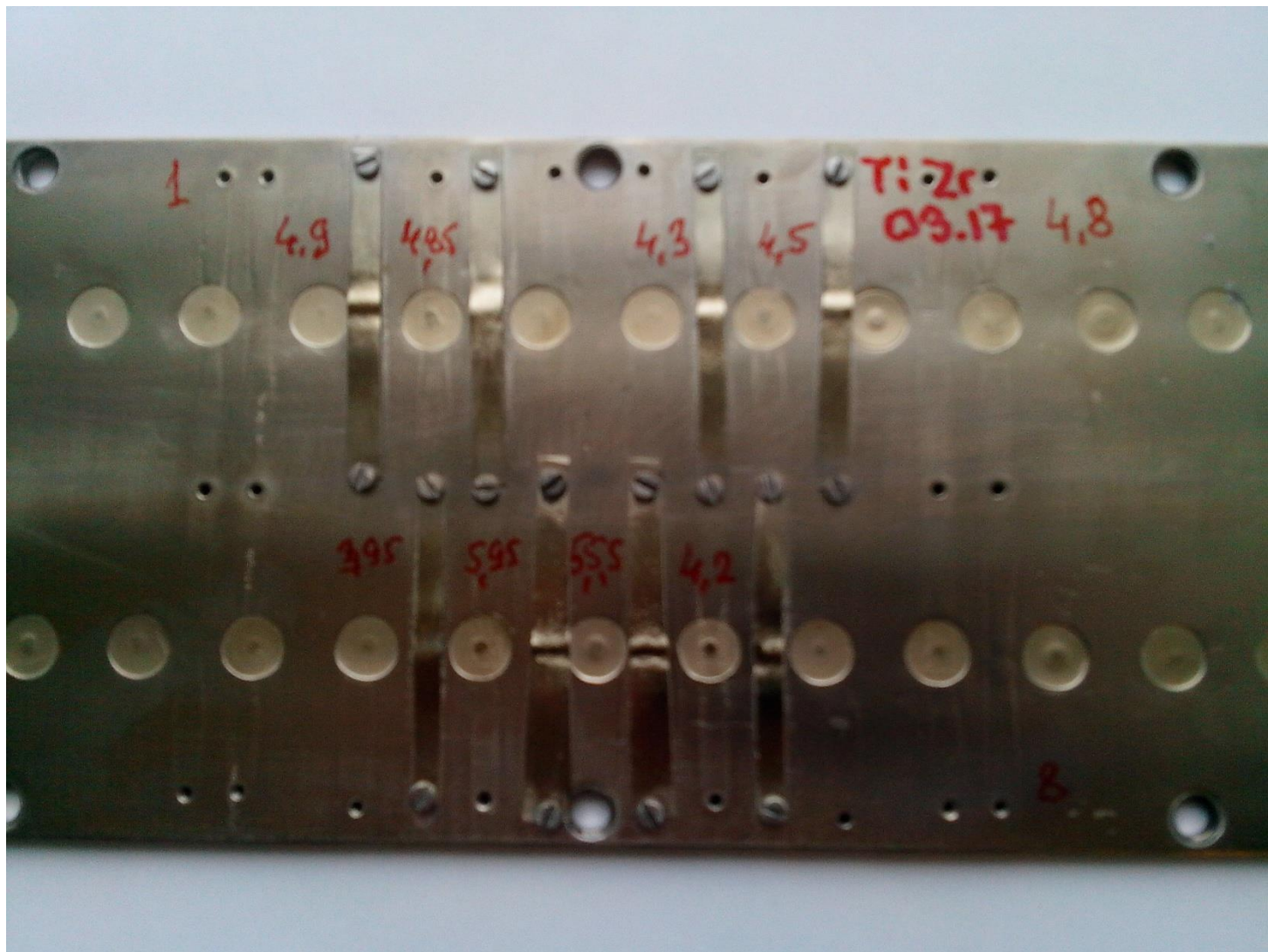


Рис 1 Мишень TiZr



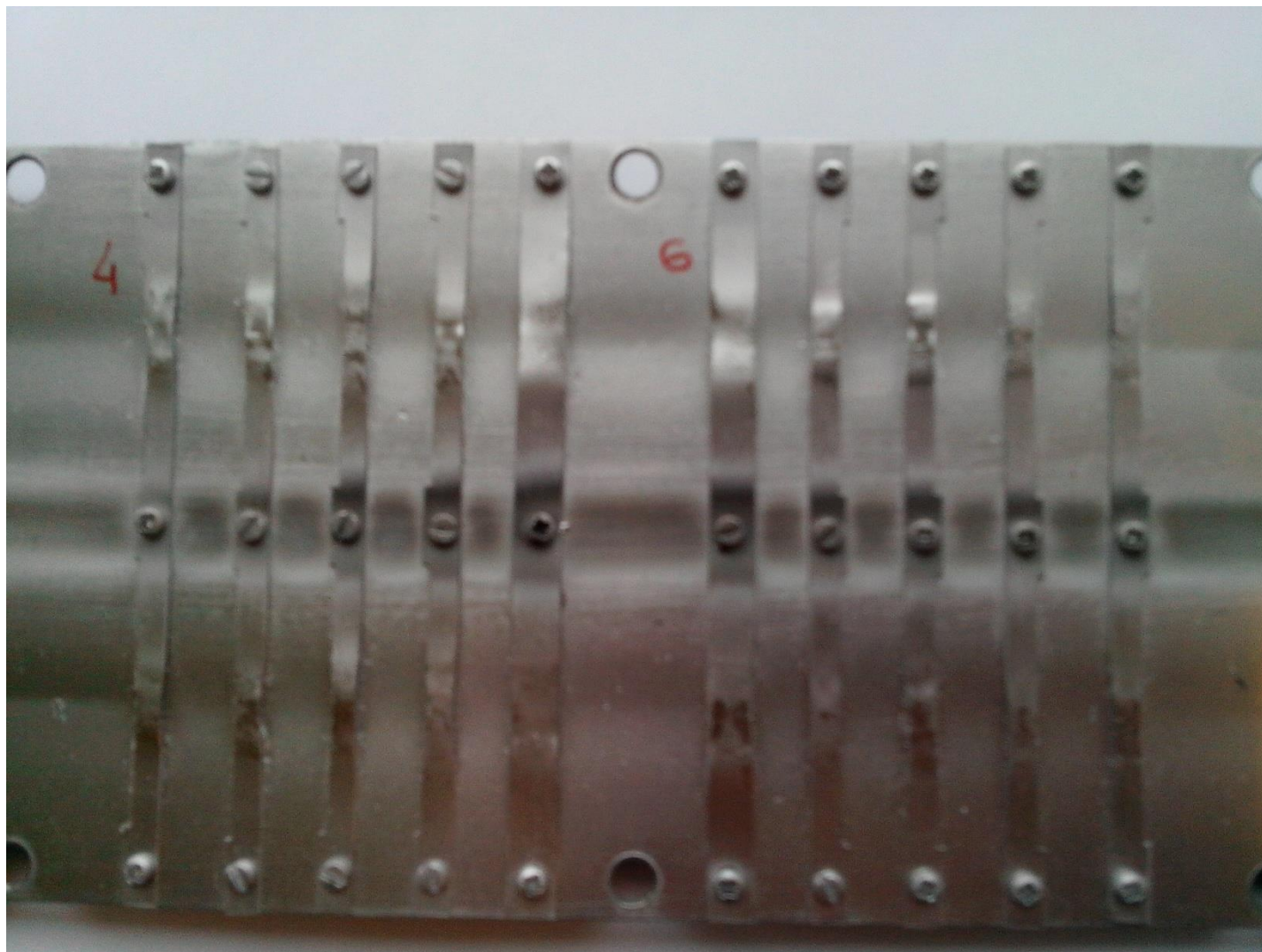
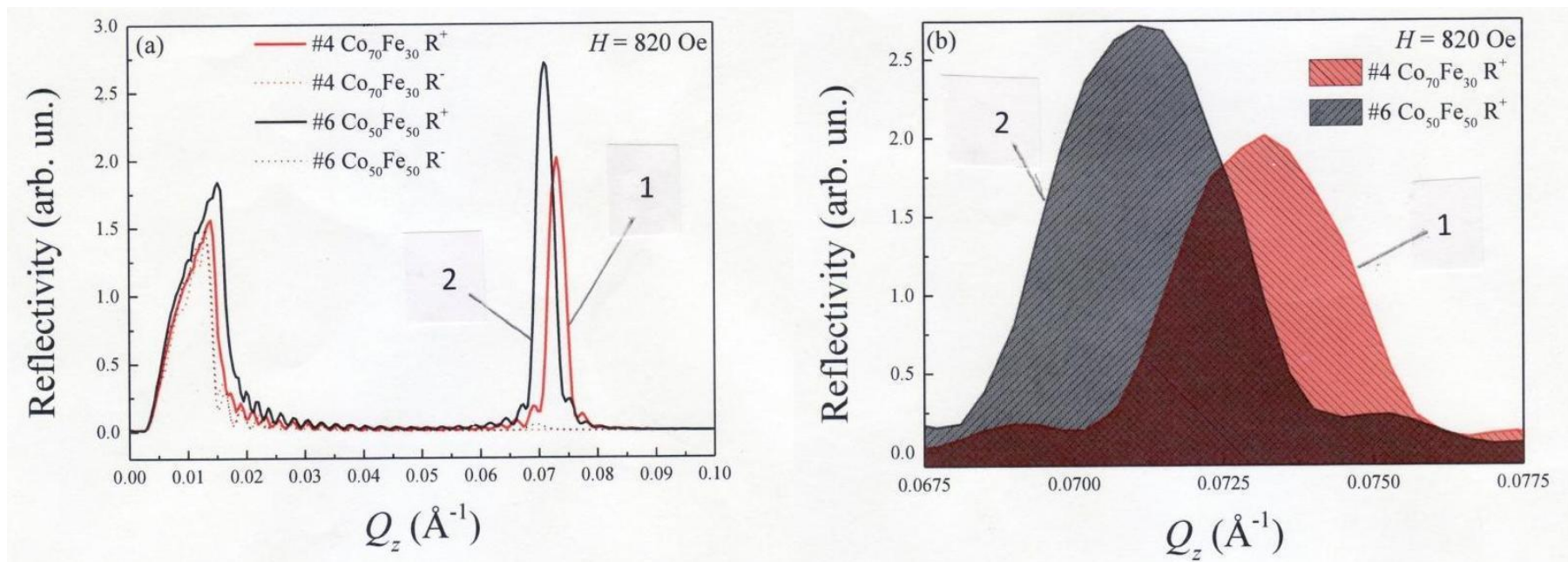


Рис 2 Мишень CoFe

Образцы экспериментальных зеркал напылялись в ПИЯФ им Б.П.Константинова (Гатчина), нейтронные результаты получены в ИЛЛ (Гренобль) на рефлектометре Супер Адам, магнитные измерения проводили в Курчатовском институте (Москва), определение состава слоев производилось в ФТИ им А.Ф. Иоффе (Санкт Петербург).

Ниже представлены проведенные мероприятия и полученные результаты.

1) Зафиксирован факт увеличения отражательной способности монохроматора **CoFe/TiZr** при замене сплава состава **70Co30Fe** на сплав состава **50Co50Fe**.



Кривые отражения нейтронов  $R^+$  и  $R^-$  от многослойных структур CoFe/TiZr (25 пар).

Брегговские пики первого порядка кривых отражения нейтронов  $R^+$  и  $R^-$  от многослойных структур CoFe/TiZr (25 пар).

Рис 3

2) Магнетометром SQUID был зафиксирован факт увеличения эффективного магнитного момента у слоев **CoFe** суперзеркала  $m=2$  с увеличением толщины слоев.

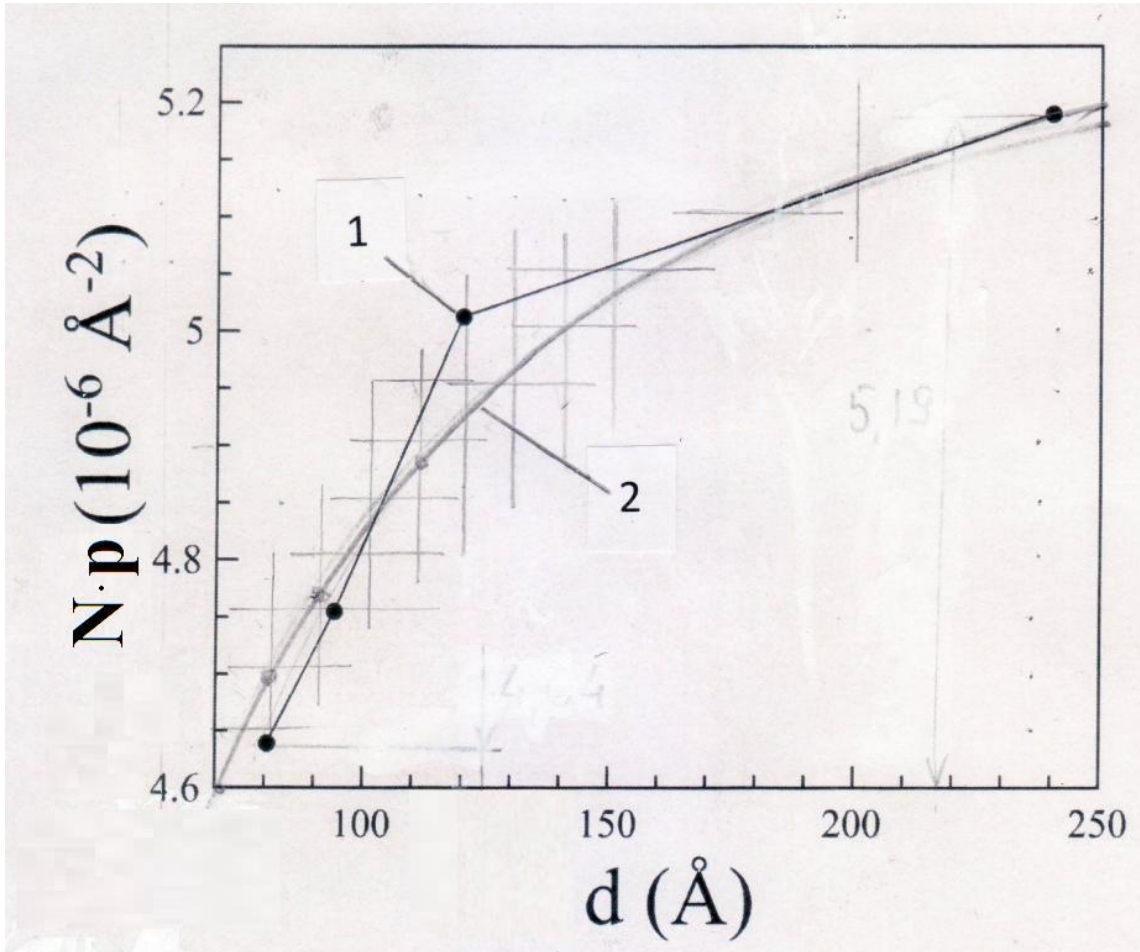


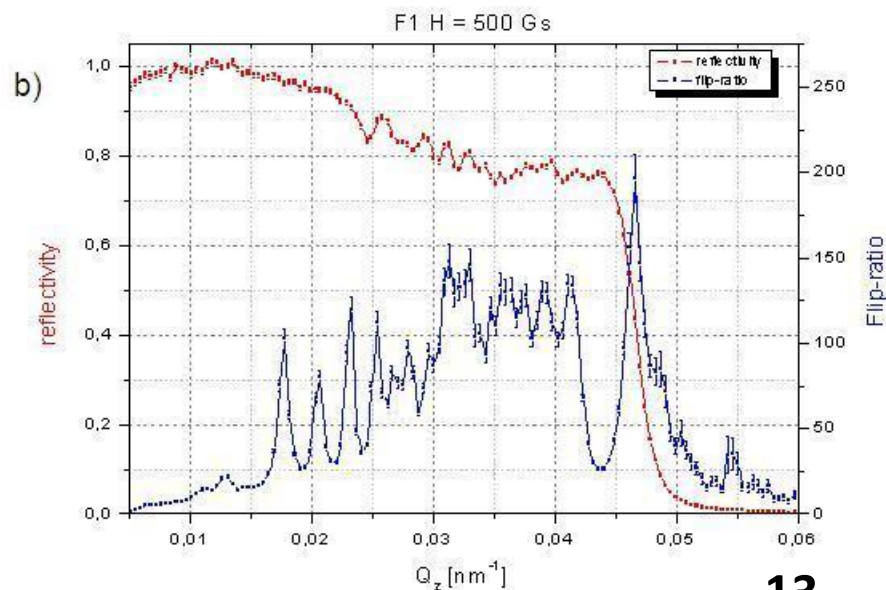
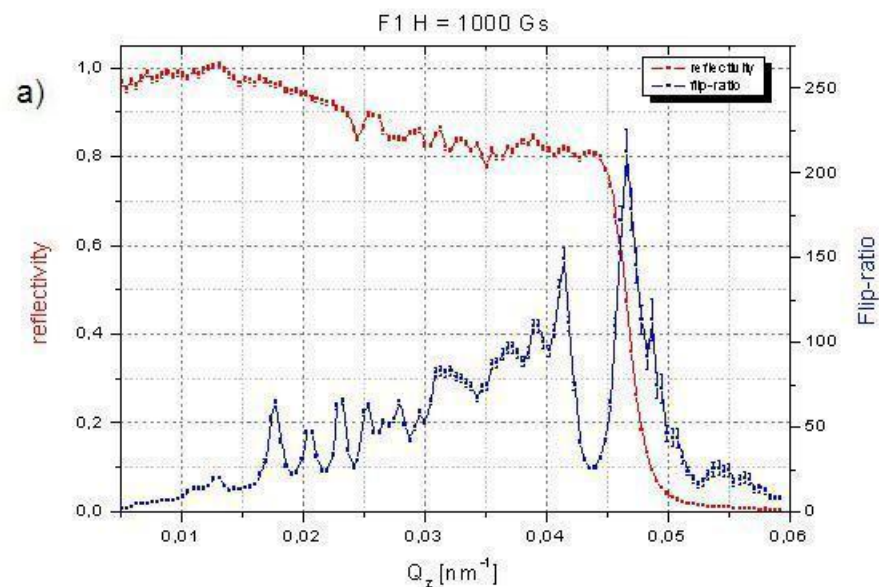
Рис 4

Намагниченность слоев **CoFe** в суперзеркале  $m=2$ , в зависимости от толщины слоев:  
(1) эксперимент  
(2) результат экстраполяции

3) Наблюден факт исправления нарушения условия обеспечения высокого значения FR  
**SLD CoFe N = SLD CoFe M+ SLD TiZr**  
 уменьшением магнитного поля. Рис 5

a) Флип отношения FR нейтронов Up и Down, отраженных слоями суперзеркала **CoFe/TiZr** в диапазоне  $Q_z(\text{\AA}^{-1})=0-0.045$  в поле  $H=1000$  Gs ( $m=2$ ).

b) Эффект увеличения флип отношения нейтронов Up и Down, отраженных группой слоев в диапазоне  $Q_z(\text{\AA}^{-1})=0.02-0.04$  в поле  $H=500$  Gs.



4) Проведено исследование влияние изменения концентрации **Zr** в немагнитном слое **TiZr** на величину FR нейтронов Up и Down, отраженных слоями разной толщины в диапазоне  $Q_z(\text{\AA}^{-1})=0.02-0.045$ . В результате показано, что для получения суперзеркала с высоким FR в широком диапазоне  $Q_z$  необходимо менять концентрацию **Zr** в слоях **TiZr** по мере изменения их толщины.

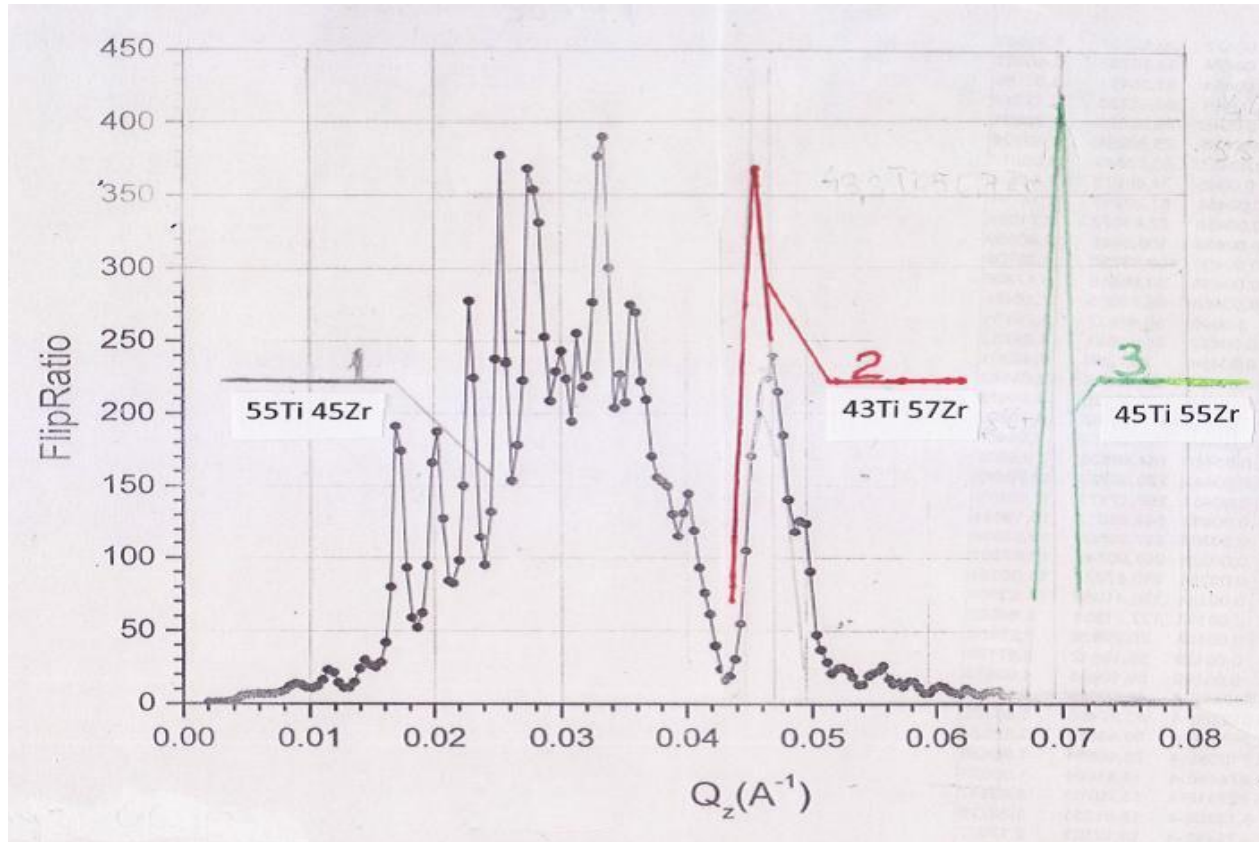


Рис 6 - Эффект поддержания высокого флип отношения изменением концентраций Zr в слоях TiZr многослойных структур по мере изменения толщины слоев в диапазоне  $Q_z(\text{\AA}^{-1})=0.02-0.07$  ( $m=3.5$ )

Для завершения исследовательской части работ по получению поляризующего зеркала **CoFe/TiZr** с  $m=2$  со значением флип отношения порядка  $FR=350$  в широком диапазоне  $Qz$  подготовлены три мишени **TiZr** с разной концентрацией Zr. С их использованием будут напылены три суперзеркала со слоями **TiZr** постоянного состава и одно суперзеркало со слоями меняющегося состава. Нейтронные измерения этих зеркал позволят уточнить распределение состава слоев **TiZr** в зависимости от порядкового номера слоя.

В заключение авторы благодарят:

- С.В.Григорьева и А.П.Булкина за интерес к данной работе и содействие в ее проведении.
- Сотрудников напылительной группы за изготовление экспериментальных зеркал.
- Настоящую аудиторию за внимание.