

11212

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



Ц8406  
Б-73

24/IV-78  
P11 - 11212

Я.Боганч, А.З.Надь, А.Сабо, З.Шереш

1877/2-78

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ

ОБРАБОТКИ  $\alpha$ -СПЕКТРОВ НА ЭВМ

1978

**P11 - 11212**

**Я.Боганч, А.З.Надь, А.Сабо, З.Шереш**

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ**

**ОБРАБОТКИ  $\alpha$ -СПЕКТРОВ НА ЭВМ**

Боганч Я. и др.

P11- 11212

Некоторые вопросы обработки  $\alpha$ -спектров на ЭВМ

В работе сообщается о результатах применения метода деконволюции на основе преобразования Фурье для обработки на ЭВМ  $\alpha$ -спектров разных типов. Было установлено, что применение метода деконволюции эффективно при анализе распределения бора в тонких образцах и нецелесообразно при исследовании толстых образцов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Bogancs J. et al.

P11- 11212

Some Questions of the Computer Evaluation of the  $\alpha$ -Spectra

An account of the results on the application of deconvolution by Fourier transformation for computer evaluating  $\alpha$ -spectra of different types is presented.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

## **ВВЕДЕНИЕ**

В предыдущих работах <sup>/1-5/</sup> мы подробно изложили результаты тех исследований по определению распределения концентрации бора, имплантированного в кремний, которые были выполнены на реакторе ИБР-30. Методика основана на измерении потери энергии  $\alpha$ -частиц, освобождающихся в реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ .

В данной работе приводятся результаты обработки на ЭВМ методом деконволюции  $\alpha$ -спектров различных типов /деконволюция - операция, обратная операции свертки/.

## **СУЩНОСТЬ МЕТОДА ДЕКОНВОЛЮЦИИ**

Как известно, деконволюция - такая математическая операция, которая позволяет вычислить функцию, заданную в неявном виде, на основе известной сложной функции. Например, интересующая нас функция -  $y=f(x)$ , но известна только ее конволюционная форма:

$$F(Y) = \int f(x)k(x, y)dy . \quad /1/$$

Так как функция  $k(x, y)$  в рассматриваемых случаях известна, методом деконволюции можно из выражения /1/ получить функцию  $y=f(x)$ . В большинстве задач метод деконволюции не позволяет привести эту функцию к аналитической форме. Однако, применяя численный расчет на ЭВМ, можно найти ее значение с достаточной точностью.

Известно много работ <sup>/6-9/</sup>, в которых авторы сообщают об обработке спектров методом деконволюции на основе преобразования Фурье. При использовании такого метода обработки спектров появляется возможность учета и разрешения детектора. Большое преимущество метода деконволюции состоит также и в том, что его можно применять для обработки таких спектров, форма которых не является гауссовой.

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА $\alpha$ -СПЕКТРОВ**

Обработка измеренных спектров проводилась на ЭВМ БЭСМ-4 и БЭСМ-6.

На БЭСМ-4 с помощью стандартной математической программы <sup>/10/</sup> были определены положения и площади пиков. Так как эта программа применяется только для обработки пиков, описываемых распределением Гаусса, то пользоваться ею можно только при обработке таких  $\alpha$ -спектров, форма которых мало отличается от гауссовской. Именно такие  $\alpha$ -спектры получаются при исследованиях, задачей которых является определение распределения бора, имплантированного в кремний. В случае таких образцов энергия имплантации составляла 20 - 80 кэВ, а средний пробег ионов бора, в зависимости от энергии имплантации, - 700 - 2800 Å .

Кроме этих образцов,  $\alpha$ -спектр которых имеет форму отдельного пика, были исследованы и такие образцы /металлические стекла, диффузионные кремниевые образцы, имплантированные образцы после отжига/,  $\alpha$ -спектры которых имеют более сложную форму.

Обработка результатов определения распределения бора во всех образцах была сделана на БЭСМ-6. Концентрация бора в зависимости от глубины была получена в единицах атом/см<sup>3</sup>. В дальнейшем приводится сравнение данных, полученных на БЭСМ-6 с применением и без применения метода деконволюции.

## ДЕКОНВОЛЮЦИЯ $\alpha$ -СПЕКТРОВ

Как уже упоминалось, сущность метода деконволюции заключается в том, что на основе преобразования Фурье можно учесть конечное разрешение детектора и получить спектр, свободный от аппаратурных искажений. В результате спектр будет более узким, как, например, в случае использования детектора более высокого разрешения.

Для успешного применения метода деконволюции, безусловно, необходим эталонный спектр, измеренный с хорошей точностью. Наш эталонный спектр был измерен для образца кремния, в который были имплантированы ионы  $\text{BF}_2^+$  с энергией 20 кэВ.

Отметим, что за эталонный можно взять и спектр, теоретически рассчитанный на основе данных о разрешении детектора. Разрешение нашего кремниевого поверхностно-барьерного детектора /источник  $^{241}\text{Am}$ / для регистрации  $\alpha$ -частиц составляло около 19 кэВ.

Деконволюция спектров по методу ФФТ /FAST FOURIER TRANSFORM / была выполнена на БЭСМ-6 на языке ФОРТРАН. В ходе деконволюции можно выделить следующие важные этапы:

1. Определенная часть измеренного спектра была представлена в виде ряда Фурье. Такая же процедура была выполнена и в случае эталонного спектра.

2. Коэффициенты Фурье измеренного спектра делятся на соответствующие коэффициенты Фурье эталонного спектра.

3. С полученными коэффициентами выполняется обратное преобразование.

Отметим, что полученные после деконволюции спектры часто имеют осцилляции. Коэффициенты Фурье обычно в результате деконволюции резко уменьшаются, а при высоких частотах флюктуируют на уровне фона. Причина осцилляций спектра связана с тем, что при делении коэффициентов Фурье на коэффициенты эталонного спектра возможны значительные ошибки.

Чтобы избежать осцилляций спектра, нужно оптимально "обрезать" ряд Фурье. Естественно, обрезание не

должно исказить форму спектра. Граница обрезания, т.е. выбор оптимальной частоты, вычислялась сначала автоматически с помощью критерия Стюдента  $t_{11/2}$ , а затем изменение частоты определялось по величине осцилляций и сглаживания.

### ***РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ДЕКОНВОЛЮЦИИ, И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ***

На *рис. 1* показан аппаратурный спектр имплантированного образца кремния и его обработка методом деконволюции. На рисунке хорошо видно, что пик, полученный методом деконволюции, выше и уже аппаратурного спектра.

На *рис. 2* показаны распределения бора, имплантированного в кремний, полученные при использовании метода деконволюции.  $R$  показывает распределение в случае, когда эталонный спектр является измеренным аппаратурным спектром, а  $\sigma$  - в случае, когда эталонный спектр определяется теоретически по разрешению детектора. На рисунке видно, что при использовании теоретического эталонного спектра деконволюция искажает картину распределения бора в более глубоких слоях. Однако если в качестве эталонного спектра использовать измеренный аппаратурный спектр, применение метода деконволюции дает правильные результаты.

*Рис. 3* показывает результат обработки бесконечно толстых образцов методом деконволюции. Бесконечным толстым образцом называется образец, толщина которого больше, чем пробег  $\alpha$ -частицы в нем. Например, максимальный пробег  $\alpha$ -частиц с энергией 1,47 МэВ в кремнии приблизительно равен 5 мкм. На рисунке хорошо видно, что применение деконволюции дает слишком большое сглаживание спектров. А в том случае, если сглаживание не так велико, сразу появляется их осцилляция.

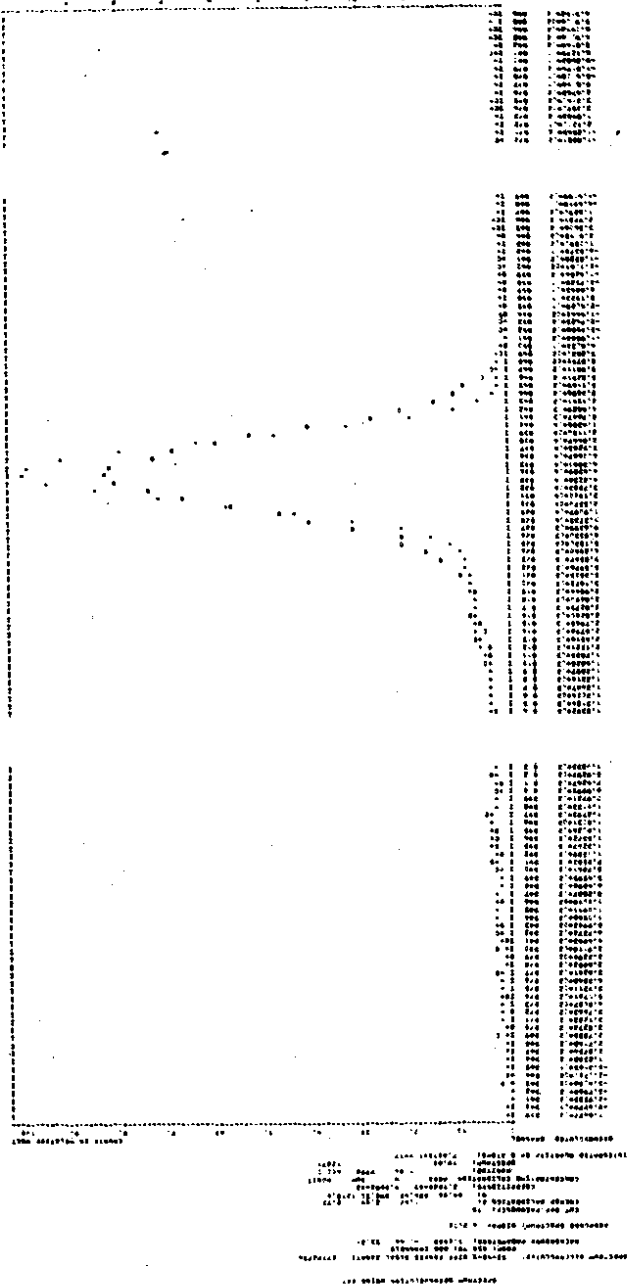


Рис. 1. Аппаратурный спектр имплантированного образца кремния и его обработка методом деконволюции. о о о - спектр, полученный путем измерений, \* \* \* \* \* - спектр, полученный в результате деконволюции.



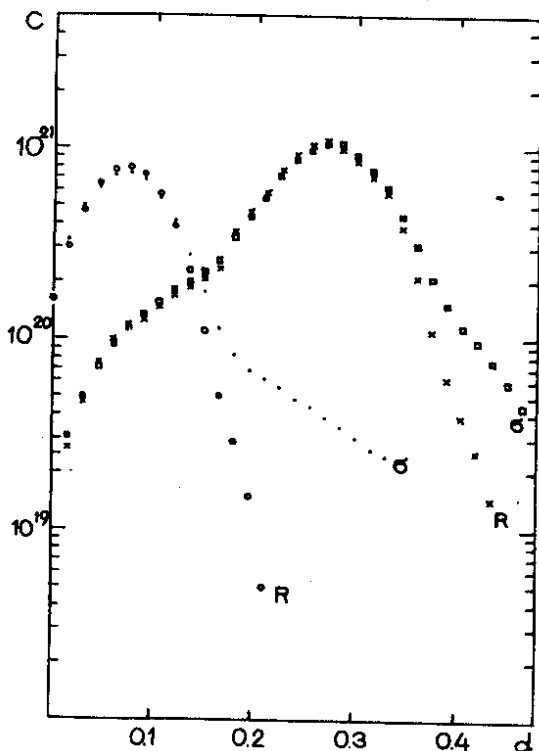


Рис. 2. Распределение бора.  $c$  - концентрация в единицах атом/см<sup>3</sup>,  $d$  - глубина в мкм,  $\circ \circ \circ \circ$  - энергия имплантации 20 кэВ,  $\square \square \square \square$  - энергия имплантации 80 кэВ.

Таким образом, по нашему мнению, применение деконволюции для обработки  $\alpha$ -спектров, полученных на бесконечно толстых образцах, нецелесообразно.

Суммируя результаты, полученные по обработке  $\alpha$ -спектров с использованием метода деконволюции, можно установить следующее.

1. Применение эталонного спектра, полученного теоретически по разрешению детектора, искажает картину распределения бора в более глубоких слоях имплантированных образцов.

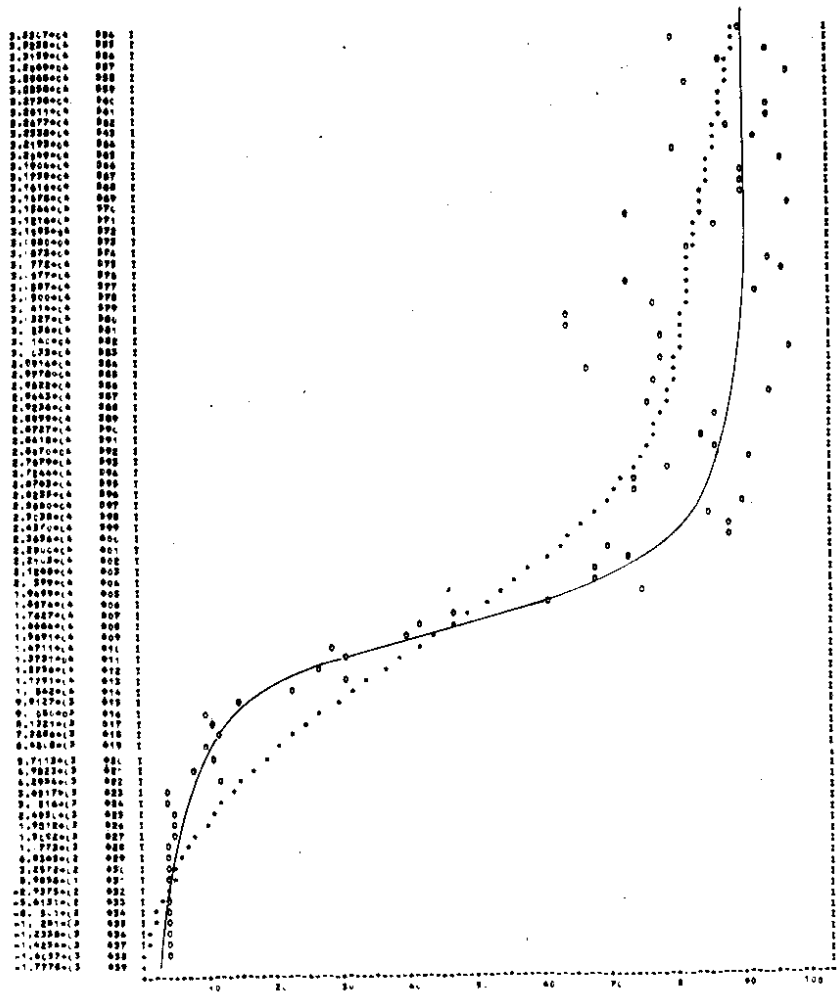


Рис. 3. Обработка бесконечно толстых образцов. ○ ○ ○ ○ - спектр, полученный путем измерений, . . . . - спектр, полученный с применением метода деконволюции, — — — — то же самое без применения деконволюции.

2. Применение деконволюции в том случае, если эталонным спектром является измеренный аппаратурный спектр, дает верную картину распределения бора. Тогда использование деконволюции целесообразно.

3. Применение деконволюции для обработки  $\alpha$ -спектров бесконечно толстых образцов нецелесообразно. В случае таких образцов вследствие осцилляций или слишком большого сглаживания спектров спектр, полученный методом деконволюции, сильно искажен и не дает действительного представления о распределении бора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боганч Я. и др. ОИЯИ, Р14-8295, Дубна, 1974.
2. Боганч Я. и др. ОИЯИ, Р3-10777, Дубна, 1977.
3. Боганч Я. и др. *Isotopenpraxis*, 1975, 11 /12/, 429-432.
4. Nagy A. e.a. *Izotoptechnika*, 1977, 20, p. 53-71.
5. Nagy A.Z. e.a. *J.Radioan.Chem.*, 1977, 38, p. 19-27.
6. Inouye T. e.a. *Nucl.Instr.Meth.*, 1969, 67/1/, p.125-132.
7. Inouye T. *Nucl.Instr.Meth.*, 1972, 104/3/, p. 541-544.
8. Blinowska K.J., Wessner E.F. *Nucl.Instr.Meth.*, 1974, 118/2/. p. 597-604.
9. Kvitek J., Hnatowicz V., Kotas P. *Radiochem.Radianal.Lett.*, 1976, 24/3/, p. 205-213.
10. Злоказов В.Б., Нефедьева Л.Ф. ОИЯИ, 10-5966, Дубна, 1971.
11. Cooley J.W., Tukey J.W. *Math.Comput*, 1965, 19, p. 297-301.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 декабря 1977 года.