

## ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ III И V ГРУПП В ВЫСОКОЧИСТОМ КРЕМНИИ МЕТОДОМ ДЛИННОВОЛНОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

К.Н. Болдырев<sup>1</sup>, Н.Ю. Болдырев<sup>1</sup>, Р.В. Кирилин<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт спектроскопии Российской академии наук  
<sup>2</sup> ООО «Группа НИТОЛ»

kn.boldyrev@gmail.com

Электрофизические характеристики полупроводникового и солнечного кремния определяются, в основном, степенью его чистоты [1]. Особое влияние на свойства кремния оказывает уровень содержания электроактивных примесей III и V групп – бора, фосфора, мышьяка, алюминия и др. Кроме того, цена кремния сильно зависит от степени его чистоты [2]. В связи с этим, кроме вопросов производства и очистки, актуальным является вопрос точного измерения концентрации неконтролируемых примесей в высокочистом кремнии для солнечной энергетики и микроэлектроники. Одним из наиболее точных и чувствительных методов является метод измерения спектров пропускания охлажденных до криогенных температур пластин в дальней инфракрасной области спектра с компенсацией донорно-акцепторных примесей [3,4].

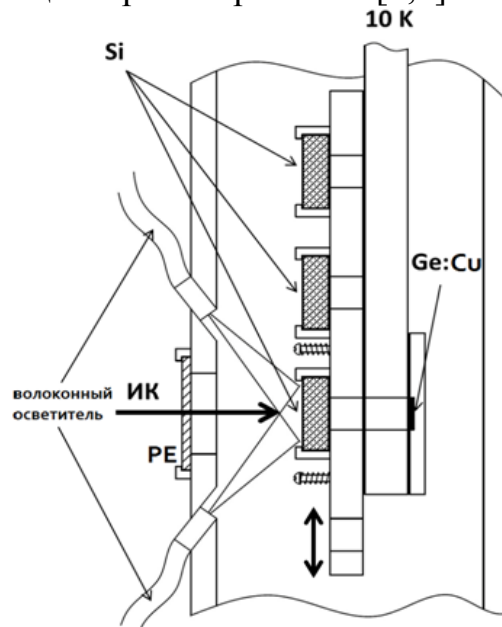


Рис. 1. Схема эксперимента (внутренняя часть криостата)

В результате настоящей работы была сконструирована опытная установка по измерению примесей в высокочистом кремнии, построенная на основе фурье-спектрометра высокого разрешения Bruker IFS 125 HR. Такие конструктивные особенности установки, как использование фоторези-

стивного приемника излучения Ge:Cu, не чувствительного к вибрациям, применение криорефрижератора для одновременного охлаждения исследуемых образцов и приемника излучения, позволили проводить измерение концентрации примесей в монокристаллическом кремнии без необходимости дорогостоящих криогенных жидкостей (в первую очередь, жидкого гелия). Схема эксперимента приведена на рис. 1: на образец, помещенный в криостат и освещаемый белым светом для компенсации электроактивных примесей, падает модулированное интерферометром Майкельсона инфракрасное излучение, которое затем регистрируется приемником излучения Ge:Cu. На рис. 2 приведен типичный спектр поглощения монокристаллической кремниевой пластины, зарегистрированный на установке в области  $260-400 \text{ см}^{-1}$ .

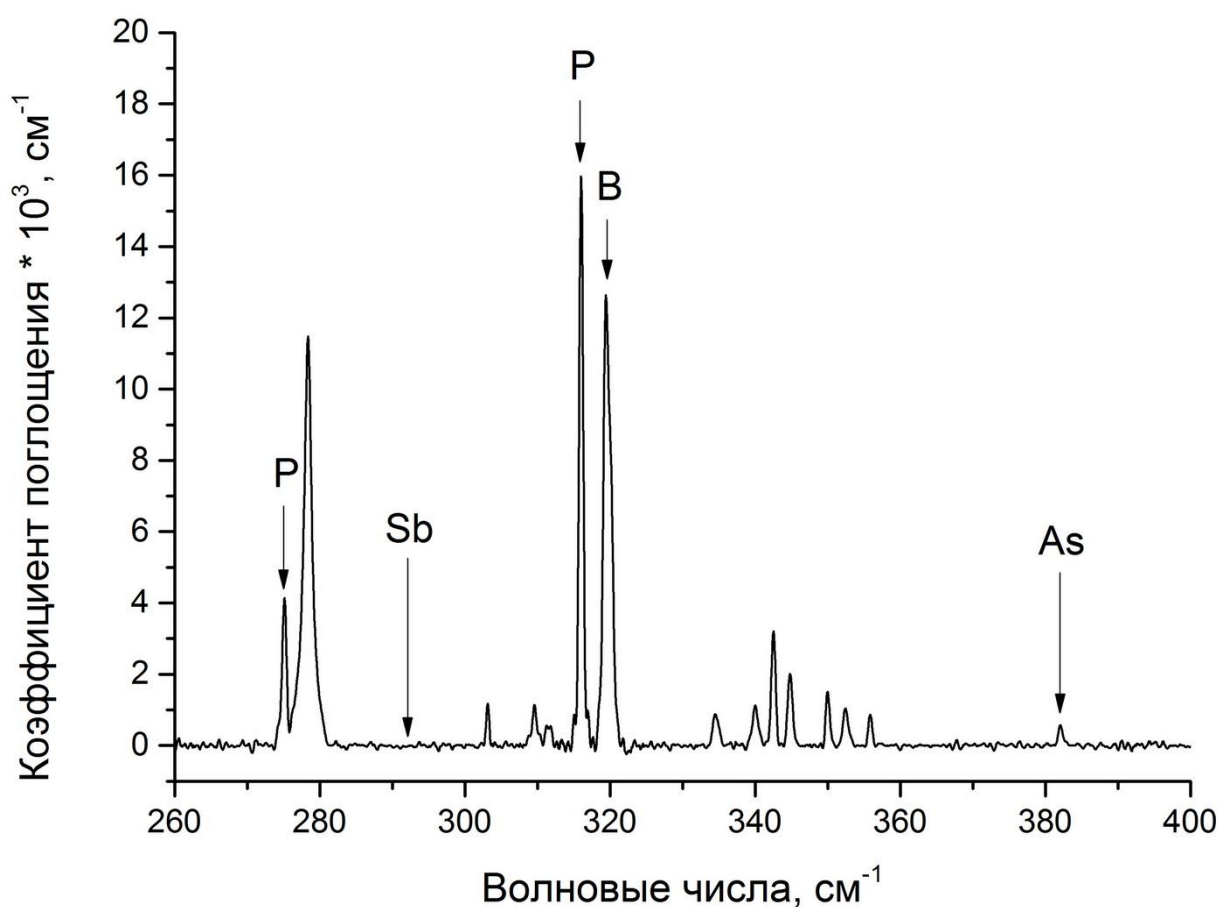


Рис. 2. Спектр высокочистой кремниевой пластины в области наблюдения электроактивных примесей

Для автоматизации процесса обработки спектра и получения результатов в виде отчета было написано программное обеспечение в среде OPUS. Кроме анализа электроактивных примесей, программа позволяет получать концентрации двух наиболее важных электронейтральных примесей – углерода и кислорода. На рис. 3 представлен итоговый отчет измерения, выдаваемый программой.

Используя возможности установки, был проведен анализ большого количества монокристаллических пластин кремния производства ООО «Группа НИТОЛ». Анализ данных позволил получить уточненные градуировочные параметры для вычисления концентрации электроактивных примесей, в первую очередь для бора и фосфора.

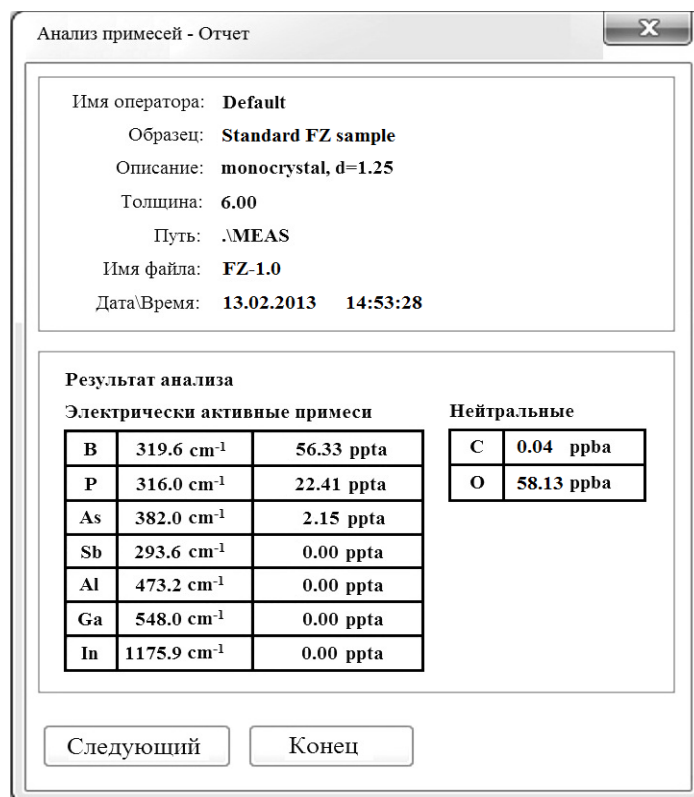


Рис. 3. Автоматический отчет программы для анализа примесей, полученный по спектру на рис.2

Кроме того, показана применимость метода в случае сильно легированных пластин ( $B < 25$  ppba,  $P < 5$  ppba). Показано, что в случае сильно легированного фосфором образца в кремнии необходимо использовать линию фосфора  $275.1 \text{ cm}^{-1}$ , а не линию  $316.0 \text{ cm}^{-1}$ , описанную в большинстве методик.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ (соглашение №7834).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рейви Л. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии М.: Мир, 1984. Наумов А.В. // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. 2009. №2(46). С. 16.
2. SEMI MF1630-0704 Test Method for Low Temperature FT-IR Analysis of Single Crystal Silicon for III-V Impurities. North American Regional Standarts Committee, 2004.
3. Baber S.C. // Thin Solid Films 1980. V. 72. P. 201.