

В Мюнхене (ФРГ) из обычного перезарядного источника при пропускании ионов гелия через пары кальция, служащие для перезарядки, получено 600 *на* отрицательных ионов кальция при определенном подборе напряжений на электродах. Процесс их образования пока не вполне ясен. Представляют также интерес конструкции источников, позволяющих в зависимости от режима работы получать как положительные, так и отрицательные ионы. Сюда относятся модернизированные дуоплазмотроны с раздельной подачей тяжелого газа в анодную область, легкого — в катодную. Этим ослабляется взаимодействие тяжелых ионов с горячим катодом. Путем прямого вытягивания из анодной плазмы получают пучки отрицательных ионов фтора, хлора и др. Ионов кислорода получено до 50 *мкА* (Орсе, Франция).

Малоинтенсивные источники тяжелых ионов в последние годы все чаще используются в ядерно-спектроскопических исследованиях и в полупроводниковой технике. Обзорный доклад Т. Сиденнуса (Дания) содержал общие рекомендации по применению таких источников, условно разделенных на пять групп. Из группы источников с поверхностной ионизацией был приведен источник, разработанный В. И. Райко (Дубна, СССР). Эффективность этого источника для цезия около 100%, для неодима 80%. Доклад В. И. Райко о работах по развитию указанного источника был заслушан с большим вниманием. М. Боше (Гренобль, Франция) сообщил, что модернизированный источник с круглым сечением

пучка используется для ионного легирования в ускорителе на 150 *кэВ*. Этот прибор работает при температуре до 3000° С без внешнего магнитного поля и позволяет получать высокое обогащение изотопов тугоплавких элементов (вольфрама, гафния, ниобия и др.).

Как уже указывалось, на конференции обсуждались не только вопросы технологии и применения ионных источников, но и теоретические вопросы физики плазмы источников и движения ионных пучков. Так, весьма интересными были обзорные доклады Дж. Хастеда (Лондонский университет, Англия) об ионно-молекулярных реакциях; Р. Лапостолле (СNET, Франция) о возможных ухудшениях качества пучков от пространственного заряда; К. Вейсмана (Марбург, ФРГ) о плазме в ионном источнике; Дж. Долико (Гренобль, Франция) о нейтрализации пространственного заряда ионных пучков.

Предполагается, что труды конференции будут изданы в конце 1972 — начале 1973 года.

Очередную международную конференцию по ионным источникам намечено провести в 1975 г. в Дармштадте (ФРГ).

ЛИТЕРАТУРА

А. С. ПАСЮК

1. Е. Д. Довец и др. Препринт ОИЯИ Р7-4412, Дубна, 1968; Препринт ОИЯИ Р7-4469, Дубна 1969 г.
2. Ю. А. Быковский и др. ЖЭТФ, 60, 1306 (1971).

Международная конференция по активационному анализу

2—6 октября 1972 г. в Сакле (Франция) состоялась Международная конференция по активационному анализу и Международный коллоквиум Национального центра научных исследований Франции (CNRS) по определению микроколичеств элементов в высокоочищенных органических и неорганических веществах и биологических объектах, организованные CNRS и Комиссариатом по атомной энергии Франции. Темы докладов конференции и коллоквиума были в значительной степени близки, но на конференции больше внимания уделялось методологии активационного анализа, а на коллоквиуме — приложениям активационных методов и полученным результатам. Работы, близкие по используемой технике, рассматривались на конференции и коллоквиуме в разные часы или дни, что позволяло участникам встречи посещать интересующие их заседания обеих секций. В регламенте коллоквиума больше времени отводилось на вопросы и дискуссии. В работе конференции приняла участие около 350 специалистов из 30 стран, представлено 86 докладов. На коллоквиум было представлено 64 доклада.

Все доклады можно сгруппировать по следующим направлениям: общие вопросы активационного анализа; методы обработки информации; активация тепловыми нейтронами и радиохимия; активация заряженными частицами и γ -квантами; регистрация мгновенных продуктов, сопровождающих ядерные реакции и ионизацию атомов; активация быстрыми нейтронами; использование изотопных источников нейтронов. С точки зрения применения активационных методов следует выделить микроанализ поверхностей; анализ высокоочищенных металлов и полупроводниковых материалов; ис-

пользование активационных методов в биологии, науках о земле и окружающей среде.

В сообщении, сделанном на пленарном заседании в день открытия конференции и посвященном вкладу ядерных методов в анализ, В. Мейнке (США) призвал больше внимания уделять достоверности активационного анализа при определении следов элементов ниже уровня 1 *часть/млн*, подчеркнув при этом важность оценки возможностей метода на конкретных образцах. Докладчик отметил возросшую роль анализа, когда по его результатам принимаются важные решения, и высказал убеждение, что основная задача активационного анализа на ближайшие 10 лет — расширение достоверного следового анализа до уровня 1 *часть/млрд*.

Значительное место в программе встречи отводилось определению микроколичеств примесей с использованием прежде всего нейтронной активации и радиохимического выделения. Этой теме посвящено более трети всех докладов конференции и более половины докладов коллоквиума. В ряде работ (Ж. Хост, Бельгия; М. Верхейке и Ж. Верпланке, Нидерланды; Ж. Блури и др., Франция) предложены схемы определения большого числа примесей в одном образце с разделением элементов на несколько больших групп и применением Ge(Li)-детекторов. Используются наиболее эффективные методы разделения: ионный обмен, экстракция, экстракционная хроматография. В некоторых работах операции радиохимического разделения автоматизированы. В последние годы с вводом в эксплуатацию реакторов на обогащенном горючем оказалось возможным существенно повысить чувствительность анализа особо

чистых материалов. Об одном из таких реакторов с потоком тепловых нейтронов $5 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²·сек сообщил Э. Риччи (США). Особенности анализа материалов с большим сечением захвата тепловых нейтронов рассмотрены в работе И. П. Алимарина и др. (СССР).

В анализе полупроводниковых материалов наряду с контролем чистоты исходного монокристалла большое внимание, как отмечается в докладе Э. Сабо (Венгрия), уделяется последующим технологическим процессам, таким, как выращивание пленок, контролируемая диффузия, ионная имплантация и т. д. Масса образца в этом случае обычно не превышает 1–10 мг, и наряду с измерением средней концентрации примесей интересно изучение их распределения. В работе Х. Рауша и др. (Венгрия) распределение легирующих элементов и примесей в эпитаксиальных пленках кремния определено путем послойного растворения образца после активации тепловыми нейтронами. Чувствительность метода достигает 10^{13} атомов/см³.

Методы анализа поверхностных слоев твердых тел путем прямого наблюдения продуктов ядерных реакций рассмотрены в 18 докладах. Упругое рассеяние заряженных частиц, регистрация мгновенного γ -излучения, вторичных протонов и α -частиц от ядерных реакций используются для изучения распределения примесей, их общей концентрации на поверхности и анализа изотопных отношений. В работе М. Брюэля и др. (Франция) при изучении профилей концентрации бора и фосфора в кремнии и ZnTe метод ядерных реакций сочетается с ионной шлифовкой образца. Разрешение по глубине составляет до 300 Å. Хорошо сфокусированные пучки заряженных частиц позволяют исследовать топографию поверхности с разрешением до 3 мкм (Дж. Пирс, Великобритания).

В работе Р. П. Мещерякова и др. (СССР) для изучения распределения углерода и кислорода в поверхностных слоях металлов используется аномально большое сечение рассеяния на большие углы α -частиц с энергией выше 15 Мэв на ядрах C¹² и O¹⁶.

В докладе В. Макинтоша (Канада) определено положение примесных атомов в кристаллической решетке кремния с помощью эффекта каналирования. С интересом было прослушано сообщение Ж. Амзеля (Франция), в котором обсуждались различные приложения метода прямого наблюдения ядерных реакций к металлургии, электрохимии, биологии, кристаллографии.

Методы анализа, основанные на активации заряженными частицами, рассматриваются в 14 докладах. Активация протонами в некоторых работах используется для определения не только легких, но и средних и тяжелых элементов. Во многих докладах рассматриваются методические вопросы, связанные с оценкой поверхностных загрязнений, устранением влияния матрицы, повышением воспроизводимости анализов и т. д.

Активация γ -квантами применяется как для многоэлементного анализа горных пород (В. В. Сулин, СССР; Т. Като и др., Япония), биологических образцов и воздушных фильтров (Дж. Хислоп и Д. Вильямс, Великобритания), так и для определения легких элементов (Ф. Нордман и др., Франция; И. М. Пронман и др., СССР). В последней работе сообщается также о нейтронно-активационном определении кислорода в ряде чистых металлов. Большой интерес вызвало сообщение о применении для активационного анализа микротрона на 30 Мэв (С. П. Капица и др., СССР).

Возможность определения элементного состава с использованием рассеяния поляризованных нуклонов обсуждается в докладе А. С. Штана (СССР). В этой

же работе рассмотрены различные варианты нейтронно-резонансного метода анализа.

Метод определения элементного состава по характеристическому рентгеновскому излучению, сопровождающему ионизацию атомов заряженными частицами, представлен на конференции четырьмя докладами.

Широко применяются в активационном анализе Ge(Li)-детекторы объемом 40 см³ и больше, расшифровка спектров и обработка результатов анализа с помощью ЭВМ. Методы оптимизации условий анализа, сравнительные характеристики различных детекторов, чувствительность, точность и правильность анализа, обработка данных на ЭВМ рассмотрены в 14 работах. Можно отметить доклады Л. Л. Педегиса и др. (СССР) по определению пределов детектирования в активационном анализе, Х. Юля (США) по оценке слабых компонентов в γ -спектрах с помощью ЭВМ, И. Н. Иванова (СССР) по выбору оптимального метода в инструментальном активационном анализе. Применение техники совпадений обсуждается в докладе З. Низе (ГДР). Использование короткоживущих изотопов позволило Е. М. Лобанову и др. (СССР) существенно сократить время анализа чистых материалов. Проблемы, возникающие при определении примеси вблизи предела детектирования, рассмотрены в работе Р. Дыбчински и др. (Польша).

Г. Н. Флётров и И. Г. Берзина (СССР) для определения бора, лития, урана и тория в породах и минералах применяли радиографический метод. Особый интерес на заседании, посвященном активационным методам в геологии, был проявлен к анализу образцов лунных пород. В специально организованной дискуссии сравнивались результаты анализа всех предлагавшихся для анализа лунных образцов, полученные различными авторами.

Активационный анализ в биологии — тема 15 докладов. В этой области в последнее время много внимания уделяется контролю правильности анализа по стандартным биологическим образцам. Некоторые проблемы, связанные с приготовлением и анализом таких образцов, рассмотрены в работах Х. Боуона (Великобритания) и Ф. Лафлера (США). В ряде случаев для диагностики важно определение элементов в организме *in vivo*. Активационный анализ — едва ли не единственный метод, способный решить такую задачу. Интересные результаты получены при анализе биологических образцов нейтронно-активационным методом в работах Р. Ривьера и др. (Франция), А. А. Киста и др. (СССР), П. Котаса и др. (Чехословакия), Э. Л. Андроникашвили и др. (СССР).

Все более очевидной становится необходимость контроля загрязнений атмосферы, континентальных вод, морей, а также изучение концентрирования токсичных элементов в различных звеньях пищевой цепи. Высокая чувствительность активационного анализа позволяет широко использовать его для решения указанных проблем. Эта тема отражена в семи докладах. Для анализа загрязнений, собираемых с помощью воздушных фильтров, применяются активация нейтронами, γ -квантами, а также метод, основанный на регистрации характеристического рентгеновского излучения при облучении заряженными частицами. Нейтронно-активационный метод используется для контроля содержания тяжелых металлов, прежде всего ртути, в поверхностных водах (А. Колажковски и др., США) и в различных морских организмах (В. Гуинн и др., США).

Труды конференции будут опубликованы в журнале «Radioanalytical Chemistry» в первой половине 1973 г.

Б. С. КУДИНОВ