

НАНО-МАСС-СПЕКТРОМЕТР

Национальный технический университет «ХПИ»

Ст. А. Ермольченко

доц. С.Д. Гапченко

Стремительное развитие нано-технологий способствовало разработке *нано-масс-спектрометра*.

В нано-масс-спектрометре используется *принцип действия механического резонатора*. Как известно, любой резонатор имеет собственную частоту колебаний, определяемую его массой. При адсорбировании резонатором атомов или молекул, его масса увеличится, что приведет к изменению его собственной частоты. В общем случае соотношение между изменением массы резонатора и сдвигом его частоты определяется геометрией резонатора и расположением адсорбированных частиц. В частном случае, когда резонатор выполнен в виде консольной балки, а поглощаемая масса Δm распределяется вдоль него равномерно, то сдвиг частоты $\Delta \nu$ определяется формулой:

$$\Delta \nu = -\frac{\nu_0}{2m_0} \Delta m ,$$

где ν_0 и m_0 – начальная собственная частота и масса наноустройства, соответственно.

Из этой формулы следует, что с увеличением массы резонатора увеличивается сдвиг частоты и, следовательно, чувствительность резонатора. Углеродные нано-трубки, масса которых $<10^{-17}$ кг, идеально подходят для роли резонатора. Кроме того, такая трубка обладает уникальным свойством: между частотой ее собственных колебаний и током автоэлектронной эмиссии существует определенная связь, что облегчает детектирование частотного сдвига. *Автоэлектронная эмиссия* (холодная эмиссия электронов) — явление вырывания электронов из металла под действием электрического поля.

Именно на основе углеродной нано-трубки учеными Калифорнийского Технологического Института был разработан первый нано-масс-спектрометр размером 4 мкм (рис. 1).

Характерные размеры нано-трубки (рис. 1а): внутренний диаметр $d = 1,75$ нм, внешний $D = 2,09$ нм, длина $L = 254$ нм, масса $m_0 = 2,33 \cdot 10^{-21}$ кг. Нанотрубка закреплена одним концом на электроде и находится

в вакуумированной камере (давление $\approx 10^{-10}$ мм рт. ст) (рис. 1б). Устройство находится в сильном электрическом поле, обеспечивающем автоэлектронную эмиссию из нанотрубки.

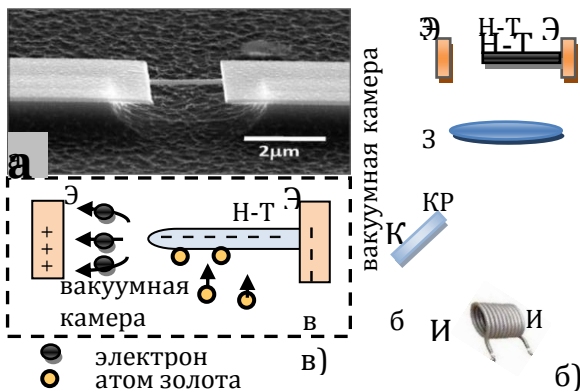


Рис. 1 – Нано-масс-спектрометр: а – общий вид; б) схема нано-спектрометра: Н-Т – нанотрубка; З – заслонка; КР – кварцевый резонатор; И – испаритель; Э – электрод в – (Н-Т) – нанотрубка; Э – электрод

на расстоянии $a = 12,8$ см перпендикулярно направлению испарения взвешиваемых частиц, контролировал постоянство массового потока от вольфрамовой нити. Как показали измерения, до открытия заслонки частота резонатора составила 328,5 МГц. Когда заслонка открывалась, определенное количество атомов оседало на резонаторе (рис. 1в). Далее заслонка закрывалась, и спустя некоторое время эксперимент повторялся вновь. Из соотношения между частотой резонатора и его массой получается, что поглощение одного цептограмма массы (1 цептограмм (цг) = 10^{-24} кг) соответствует уменьшению частоты резонатора на $\Delta\nu = 0,104$ МГц (то есть чувствительность резонатора равна 0,104 МГц/цг). По резонансному сдвигу частоты было определено (предполагая массу атома золота известной — 0,327 цг), что во время первого открытия заслонки на углеродной нанотрубке осел 51 атом золота. Такие устройства найдут применение в самых различных областях. В медицине его можно будет использовать для определения состава протеинов и крови, в химической промышленности с помощью такого устройства можно будет проводить анализ различных веществ,

В работе определялась масса атомов золота. Атомы испарялись с вольфрамовой нити, расположенной на расстоянии $l = 50,2$ см от нанотрубки. Количество попадающих в резонатор атомов золота регулировалось заслонкой. Кварцевый резонатор, расположенный

в экологии и мониторинге окружающей среды можно будет точно анализировать уровень и состав загрязнений в воздухе.