

## Замороженная пустота

Речь идет вот о чем. При высокой температуре в кристаллической решетке концентрация вакансий — «атомов пустоты» — велика. Впрочем, лучше выразиться точнее: «велика» — это значит, что всего около одной сотой процента позиций в решетке вакантны. Если температуру понижать, то и концентрация вакансий должна понизиться. Важно, с какой скоростью будет происходить понижение температуры и уменьшение концентрации вакансий. Если температуру понижать медленно, вопрос не возникает; концентрация вакансий будет в точности соответствовать равновесной при данной температуре образца.

В принципе мыслимо (видимо, так рассуждал Я. И. Френкель) понижать температуру с такой скоростью, что вакансии, которые при понижении температуры оказываются лишними и которым надлежит как-то уходить из кристаллической решетки, не будут успевать это делать.

У вакансий есть много способов исчезнуть, уйти из кристаллической решетки. Не будем их обсуждать, нам вполне достаточно знать, что как-то вакансии могут уйти. А при низких температурах, когда диффузионная подвижность вакансий пренебрежимо мала, они практически вообще этого делать не будут. Это значит, что вакансии, т. е. атомы пустоты, окажутся замороженными. Именно это и имеется в виду, когда говорят «замороженная пустота». Так можно заморозить песчинки в быстро охлаждаемой воде, в которой взмучен песок. Если бы вода остывала медленно, песок успел бы осесть на дно.

Замороженные вакансии должны увеличить омическое сопротивление металлического кристалла на некоторую величину  $\Delta R$ . Так как каждая из них является центром, рассеивающим электроны, то  $\Delta R \sim c_v = e^{-U/kT}$ . Измеряя сопротивление в образцах, закаленных от разных температур, т. е. прирост сопротивления, можно получить сведения об энергии образования и равновесной концентрации вакансий при этих температурах. Заманчиво!

Логика теоретика как будто внутренне непротиворечива, «пустоту заморозить» можно. В этом, однако, очень многие сомневались и тогда, когда идея жила как таковая, и даже тогда, когда появились результаты первых опытов, свидетельствовавшие о ее состоятельности.

Возражавшие против принципиальной возможности «заморозить пустоту» говорили, что, как бы скоро экспериментатор ни охлаждал образец (а делать это с бесконечной скоростью он принципиально не может), вакансии все равно будут успевать уходить из решетки. Куда? Куда-нибудь, где найдется для них пристанище: в пору, в трещину, в дислокацию, на поверхность образца. Именно куда-нибудь, только бы не оставаться в растворе, где она лишняя, «избыточная». Не закалится! Уйдет!

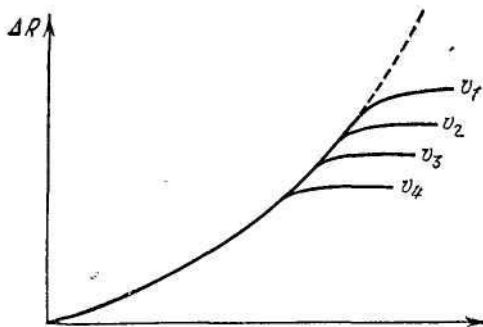


Рис.12. Зависимость прироста омического сопротивления металлической проволоки от температуры, начиная с которой производилась закалка. С увеличением скорости охлаждения образцы вакансии успевают «закаливаться» при более высокой температуре ( $v_1 > v_2 > v_3 > v_4$ )

Опыты по закалке вакансий были поставлены очень просто. Предварительно тщательно отожженные током проволочки металлов — золото, платина и др.— помещали в ванну с холодной жидкостью, током нагревали проволочку до определенной температуры, после чего выключали ток. Проволочка с большой скоростью охлаждалась. О том, что в ней сохранились замороженные вакансии, судили на основании измерения омического сопротивления. Оно оказывалось тем более высоким, чем до более высокой температуры была током нагрета проволока, т. е. чем большее число вакансий было заморожено.

Такие опыты были поставлены в нескольких лабораториях мира, и результат опытов оказался одним и тем же, никак не зависящим от географического положения лаборатории: **пустота везде замораживалась.**

При підготовці матеріалу використовувалися результати наукових досліджень викладачів

*кафедри фізики металів, а також фрагменти з науково-популярної літератури:*

1. Бокштейн Б.С. *Атомы блуждают по кристаллу.* – М.: Наука, 1984. – 208 с.
2. Гегузин Я.Е. *Очерки о диффузии в кристаллах.* – М.: Наука, 1974. – 255 с.
3. Гегузин Я.Е. *Живой кристалл.* – М.: Наука, 1987. – 192 с.