

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЗИТРОНОВ С КРИСТАЛЛАМИ И АННИГИЛЯЦИЯ ПОЗИТРОНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

*И.А.Дехтяр, Э.Г.Мадатова, В.И.Силантьев,
В.Т.Адонкин*

Впервые наблюдается явление аномального прохождения позитронов через толстый монокристалл кремния. Предложенный механизм каналирования связывается со специфическим образованием и прохождением позитрония через кристалл.

Среди важных проблем, связанных с изучением позитронной аннигиляции, особое место занимает вопрос о движении позитронов до их аннигиляции в кристаллах. При достаточной толщине кристалла, обеспечивающей практически полное поглощение позитронов, последние термализуются до аннигиляции. При малых толщинах и достаточной энергии заряженных частиц наблюдается явление каналирования коллимированного пучка позитронов.

В настоящей работе сообщаются результаты изучения прохождения позитронов через толстые монокристаллы кремния, показывающие отклонения от существующих закономерностей.

Изучались спектры двухфотонной аннигиляции для отоженных поликристаллических Pd и Ta. Позитроны от ^{22}Na активностью ~ 10 мкюри проходили через конвертер (монокристалл Si с гранью (111) толщиной в несколько сот микрон), а затем попадали на исследуемые объекты.

Относительный поток прошедших через конвертер позитронов с энергией $E_{max} = 0,54$ Мэв по оценке составляет [1] $\sim 5\%$. На самом деле эта величина завышена, так как при оценке не учитывается распределе-

ние позитронов по энергиям. Измеренная нами доля прошедших позитронов оказалась почти на порядок больше.

Естественно было предположить, что позитроны каналируют в кристалле Si. Известны эксперименты [2], показавшие возможность каналирования протонов в золоте, при условиях заведомо не обеспечивающих каналирование. В указанной работе захваченными в каналы решетки оказались около 1% протонов.

В наших условиях при диаметре пучка ~ 20 мк и толщине кристалла в несколько сот микрон, каналирование позитронов предполагает какой-то особый механизм их прохождения. Было предположено, что их движения в кристалле-конвертере осуществляется посредством образования позитрония (P_s).

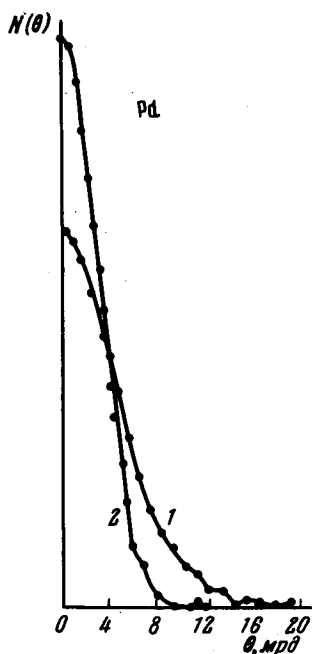


Рис. 1. Зависимость скорости счета $N(\theta)$ (в произвольных единицах) от угла θ между аннигиляционными фотонами для поликристаллического палладия: кривая 1 — без конвертера; кривая 2 — с конвертером

На рис. 1 приведены нормализованные по площади кривые угловой корреляции аннигиляционных фотонов (УРАФ) для палладия без конвертера (кривая 1) и с ним (кривая 2). Кривая 1 не показывает каких-либо особенностей (полуширина УРАФ равна 5,2 мрад) и характеризует аннигиляцию позитронов в объеме металла [3]. Кривая 2 указывает на наличие узкой компоненты, связанной с аннигиляцией P_s из синглетного состояния. Полуширина кривой равна 3,6 мрад и соответствует взаимодействию P_s с поверхностью.

Аналогичные результаты были получены для поликристаллического тантала размером $25 \times 20 \times 0,5$ мм³. На рис. 2 кривые УРАФ $N(\theta)$ нормализованы к высоте. На кривой 2 (рис. 2) виден узкий максимум с полной шириной равной $\sim 0,8$ мрад, который может быть связан с аннигиляцией из связанного состояния [4] на поверхности оксидного слоя Ta. При углах $\theta > 4,5$ мрад $N(\theta)$ на этой кривой резко падает.

При сравнении кривых $N(\theta)$ от поверхности исследуемых металлов с кривыми $N(\theta)$ от объема общим является сравнительно малая доля аннигиляций с электронами ионных остовов на поверхности по сравнению с таковыми для объема.

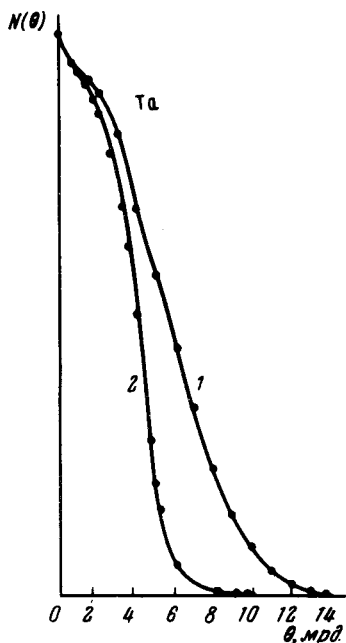


Рис. 2. Зависимость скорости счета $N(\theta)$ (в произвольных единицах) от угла θ между аннигиляционными фотонами для поликристаллического тантала: кривая 1 — без конвертера; кривая 2 — с конвертером

Из теоретических и экспериментальных исследований вытекает, что позитроний в металле без соответствующих дефектов не может образоваться. Поэтому наблюдаемая узкая компонента на кривой УРАФ от поликристаллического Pd может быть интерпретирована как результат взаимодействия P_s , образованного после прохождения через конвертер, с его поверхностью [1, 5]. Наложение электрического поля до 10^4 в/см и изменение его направления между источником и исследуемым образцом не влияло на кривые УРАФ, получаемые с конвертером. Это свидетельствует о том, что результаты не связаны с взаимодействием медленных позитронов с поверхностью.

Заметим, что образование позитронов в кремнии тоже является запретным с точки зрения теории [5, 6]. Поэтому необходимо предположить, что квазипозитрониевые состояния могут образоваться в кремнии специфическим механизмом прохождения позитронов.

Специальными опытами нами было показано, что указанное облучение приводит к образованию электронно-дырочных пар в Si, что обнаруживается по наблюдению излучательной рекомбинации после облучения кристалла Si позитронами. Это дает основание рассматривать возможность образования позитрониеподобных состояний при взаимодействии позитронов с электронами валентной полосы и полосы проводимости. При этом позитрон соответствующей энергии образует связанное состояние с электроном валентной полосы ($e^+ + e_v^- \rightarrow P_s$), а при дальнейшем движении P_s диссоциирует с передачей электрона в зону

проводимости ($P_s \rightarrow e^+ + e^-$). Последовательная цепь таких быстрых реакций (даже в отсутствие свободного объема) [4] может сопровождать позитрон до его превращения на поверхности кристалла Si в P_s , который далее взаимодействует с поверхностью исследуемого объекта.

Если поверхность исследуемого объекта абсолютно чиста, т. е. не содержит адсорбированных пленок других веществ, то таким образом можно получить кривую УРАФ для поверхности кристалла [3]. Для идеально чистой поверхности металла, указанная выше полуширина кривой \mathcal{Z} УРАФ (рис. 1) для поликристаллического палладия должна быть еще меньше.

В заключение отметим, что явление аномального прохождения позитронов должно наблюдаться и для многих других кристаллов.

Институт металлофизики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
10 мая 1976 г.

Литература

- [1] W.Brandt. Appl. Phys., 5, 1, 1974.
 - [2] А.М.Маркус, Я.Е.Гегузин, А.Л.Файнштейн. ЖЭТФ, 61, 332, 1971.
 - [3] I.Ya.Dekhtyar. Physics Reports, 9с, 243, 1974.
 - [4] В.И.Гольданский. Физическая химия позитрона и позитрония, М., изд. Наука, 1968.
 - [5] A.Held, S.Kahana. Can. J. Phys., 42, 1908, 1964.
 - [6] H.Kanasawa et al. Phys. Rev., 138, A1155, 1965.
-