

Авторы благодарны Б.И.Веркину за постоянный интерес к работе, И.О.Кулику и Д.Ф.Комнику за полезные обсуждения полученных результатов.

Физико-технический институт  
низких температур  
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию  
18 мая 1965 г.

### Литература

- [1] M.D.Fiske. Revs. Mod. Phys., 36, 221, 1964.
- [2] И.К.Янсон, В.М.Свистунов, И.М.Дмитренко. ЖЭТФ, 47, 2091, 1964.
- [3] И.К.Янсон, В.М.Свистунов, И.М.Дмитренко. ЖЭТФ, 48, 976, 1965.
- [4] B.D. Josephson. Revs. Mod. Phys., 36, 216, 1964.
- [5] J.C. Swihart. J.Appl. Phys., 32, 461, 1961.
- [6] R.E.Eck, D.J. Scalapino, B.N. Taylor. Phys. Rev. Lett., 13, 15, 1964.
- [7] S.Shapiro, A.R.Janus, S.Holly. Revs. Mod. Phys., 36, 223, 1964.
- [8] V.Ambegaokar, A.Baratoff. Phys. Rev. Lett., 10, 486, 1963.
- [9] R.A.Ferrell, R.E.Prange. Phys. Rev. Lett., 10, 479, 1963.

---

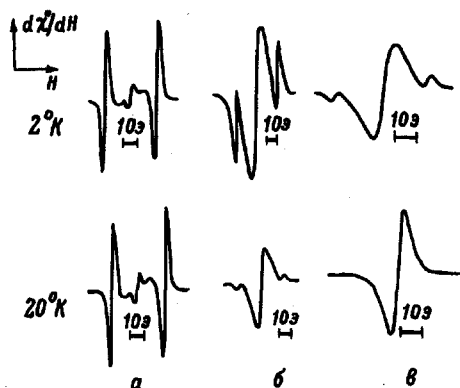
1) Настоящая работа была доложена на Всесоюзном совещании по физике конденсированного состояния 11-15 мая 1965 г. в г.Харькове.

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЛИНИЙ СВЕРХТОНКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СПЕКТРАХ ЭПР ФОСФОРА В КРЕМНИИ

Б.Г.Журкин, Н.А.Пенин

При исследовании температурной зависимости спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в кремнии *n*-типа, легированном фосфором, было обнаружено различное поведение линий сверхтонкого взаимодействия в спектрах образцов с разной концентрацией фосфора. На рисунке приведены спектры ЭПР  $\alpha \chi'' / \alpha H = f(H)$

при двух температурах (2 и 20°K) для образцов с концентрацией донорной примеси фосфора  $N_D = 2 \cdot 10^{17}$ ,  $4,5 \cdot 10^{17}$  и  $6 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Видно, что в отличие от образца с  $N_D = 2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> в образцах с  $N_D = 4,5 \cdot 10^{17}$  и  $6 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> интенсивность линий сверхтонкого взаимодействия резко падает с ростом температуры.



Спектры ЭПР: а -  $N_D = 2 \cdot 10^{17}$ ,  
 б -  $N_D = 4,5 \cdot 10^{17}$ , в -  $N_D =$   
 $6 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>

Различная температурная зависимость линий сверхтонкого взаимодействия в исследованных образцах кремния связана, по нашему мнению, с различной природой парамагнитных центров, дающих основной вклад в эти линии при разных концентрациях фосфора.

При концентрации доноров  $N_D = 2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> линии сверхтонкого взаимодействия обусловлены, главным образом, изолированными атомами фосфора, так как перекрытие волновых функций при этой концентрации незначительно [1]. Поэтому обмен электронами между соседними атомами, который мог бы привести к уменьшению числа связанных электронов, не имеет места, и, следовательно, интенсивность линий сверхтонкого взаимодействия практически не зависит от температуры.

При концентрациях доноров  $N_D = 4,5 \cdot 10^{17}$  и  $6 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> существует значительное перекрытие волновых функций, о чем свидетельствует наличие интенсивной средней линии в спектре. В этом случае линии сверхтонкого взаимодействия обусловлены в основном группами взаимодействующих атомов [1]. Вследствие этого увеличение

температуры вызывает увеличение частоты перескока между атомами, т.е. усиление делокализации электронов. В результате с ростом температуры происходит уменьшение интенсивности линий сверхтонкого взаимодействия и увеличение интенсивности центральной линии.

Кроме того, при увеличении температуры наблюдается сужение центральной линии. Наиболее эффективно оно происходит в образце с концентрацией фосфора  $N_D = 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Как было отмечено в работе [2], подобный эффект наблюдается в германии и может быть обусловлен перескоком электронов между атомами, происходящим с участием фононов.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
19 мая 1965 г.

#### Литература

- [1] Б.Г.Журкин, Н.А.Пенин. ФТТ, 6, 1141, 1964.  
[2] D.Wilson. Phys.Rev., 134, A265, 1964.