

©1994 г.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

А.А.Лебедев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получена 23 мая 1994 г. Принята к печати 26 мая 1994 г.)

Сделана оценка влияния неоднородного по площади распределения оптически активных центров на амплитуду и форму полосы поглощения. Показано, что при перераспределении концентрации оптически активных центров и, в частности, при отсутствии их в незначительной части образца возрастает его кажущаяся прозрачность и форма полосы становится более плоской. Это может привести к заметным ошибкам в оценке концентрации оптически активных центров.

Измерение коэффициента поглощения света в характерных областях спектра часто используется в качестве экспрессного неразрушающего метода определения концентрации примесей в полупроводниках [1-8]. В частности, такой метод нашел широкое применение для определения концентрации кислорода и углерода в кремнии [1-5]. При этом в большинстве случаев в явной или неявной форме предполагается, что примесь распределена по объему полупроводника равномерно. В данной работе сделана оценка возможного влияния неоднородного по площади распределения оптически активных центров (ОАЦ) на величину и форму полосы поглощения.

Измерение спектров поглощения в плоскопараллельных пластинах полупроводника производится обычно с помощью спектрофотометров с достаточно большим размером светового пятна. Весь прошедший через образец свет регистрируется фотоприемником. В дальнейшем будем предполагать, что отражение от поверхности полупроводника учтено и не будем его рассматривать. В этом случае при равномерном распределении ОАЦ в объеме исследуемого образца

$$I = I_0 \exp(-\alpha d), \quad (1)$$

где I_0 , I — интенсивность падающего и прошедшего через образец излучения соответственно, d — толщина пластины, $\alpha = \kappa N$ — коэффициент поглощения, κ , N — сечение захвата фотона и концентрация ОАЦ

соответственно. Отсюда и определяют концентрацию центров N :

$$N = \frac{1}{\kappa d} \ln \frac{I_0}{I}. \quad (2)$$

В случае неравномерного распределения ОАЦ разобьем всю площадь светового пятна на n -области с одинаковым значением $N = N_i$ в каждой из них. В дальнейшем будем предполагать, что размеры этих областей много больше длины световой волны и можно не учитывать дифракцию, рассеяние и другие оптические явления. Тогда интенсивность прошедшего через образец излучения

$$I = I_0 \sum_{i=1}^n S_i \exp(-\kappa N_i d). \quad (3)$$

Здесь S_i — относительная площадь i -ой области. Перераспределение ОАЦ может привести к изменению прозрачности образца, т.е. к изменению суммарного потока излучения, прошедшего через образец и зарегистрированного фотоприемником. Такое перераспределение ОАЦ происходит, в частности, в результате термообработки «кислородного» кремния.

В качестве наглядного примера рассмотрим простейший случай, когда концентрация центров N_0 перераспределяется по площади светового пятна таким образом, что в одной части с площадью S_1 концентрация центров $N_1 = 0$ (и в ней отсутствует поглощение), а все центры равномерно распределены в другой части образца без изменения общей концентрации, т.е. $N_0 = (1 - S_1)N_2$. Тогда формула (3) принимает вид

$$I = I_0 \left[S_1 + (1 - S_1) \exp\left(-\frac{\kappa N_0 d}{1 - S_1}\right) \right]. \quad (4)$$

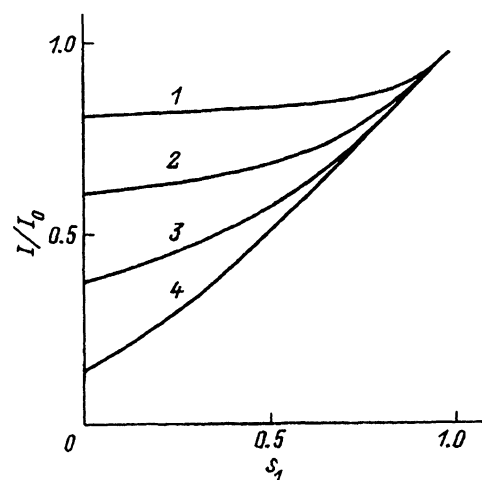


Рис. 1. Расчетные зависимости $I/I_0 = f(S_1)$ при значениях $\kappa N_0 d$: 1 — 0.2, 2 — 0.5, 3 — 1, 4 — 2.

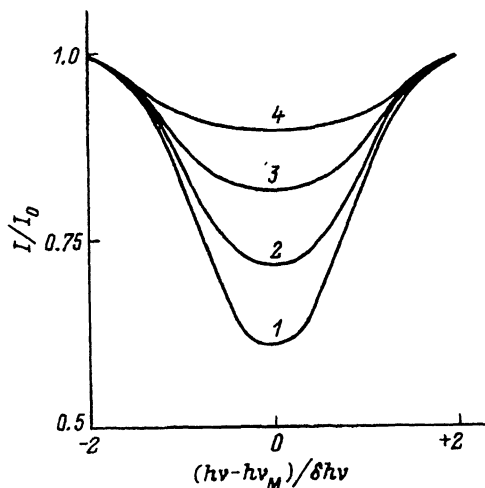


Рис. 2. Расчетный пример влияния перераспределения концентрации оптически активных центров на форму полосы поглощения при $\kappa N_0 d = 0.5$ и значениях относительного сечения S_1 : 1 — 0, 2 — 0.6, 3 — 0.8, 4 — 0.9.

На рис. 1 показаны вычисленные по формуле (4) зависимости $I/I_0 = f(S_1)$ при нескольких значениях κdN_0 . Из рисунка видно, что по мере перераспределения центров и, в частности, отсутствия их в незначительной части образца возрастает кажущаяся прозрачность и в пределе $I \rightarrow I_0 S_1$, так как области с высокой концентрацией ОАЦ практически не пропускают свет. Вычисление концентрации ОАЦ по формуле (2) может в этом случае привести к значительным ошибкам. Так, например, для $\kappa N_0 d = 1$ вычисленные по формуле (2) значения N при $S_1 = 0$ и $S_1 = 0.9$ отличаются в 9.5 раз.

При расчете предполагалось, что интенсивность падающего на пластину света I_0 равномерна по площади. В случае однородного распределения ОАЦ неравномерность освещения практически не сказывается на результатах измерения. При неравномерном распределении N распределение $I_0(S)$ может играть заметную роль и дополнительно изменять результаты измерения.

Неравномерное распределение $N(S)$ может сказаться также и на форме полосы поглощения. Если ОАЦ равномерно распределены в исследуемом объекте, то при изменении их концентрации изменяется амплитуда пика поглощения, но форма полосы остается неизменной. На рис. 2 приведены результаты расчета для случая полосы с гауссовым распределением сечений фотоионизации центров

$$\kappa = \kappa_M \exp \left[- \left(\frac{h\nu - h\nu_M}{\delta h\nu} \right)^2 \right],$$

где $\delta h\nu$ — полуширина полосы, $h\nu_M$ — энергия максимума. Из рисунка видно, что по мере роста неоднородности распределения $N(S)$ максимум полосы уменьшается и вершина полосы становится все более плоской из-за того, что часть образца становится практически непрозрачной. При измерении спектров поглощения такое искажение формы полосы может служить признаком неоднородного распределения центров и отразиться на их идентификации.

Таким образом, неравномерное распределение оптически активных центров может привести к значительным ошибкам в оценке их концентрации и исказить форму полосы поглощения.

Список литературы

- [1] W. Kaiser, P. Keck, L.F. Lange, Phys. Rev., **101**, 1264 (1956).
- [2] W. Kaiser, R. Keck, J. Appl. Phys., **28**, 882 (1957).
- [3] В.Р. Реньян. *Технология полупроводникового кремния* (М., Металлургия, 1969).
- [4] В.В. Батавия. *Контроль параметров полупроводниковых материалов и эпитаксиальных слоев* (М., Сов. радио, 1976).
- [5] Р.Ф. Витман, А.А. Лебедев. ФТП, **12**, 2069 (1978).
- [6] M.S. Brand, H.D. Fuchs, M. Stutzmann, J. Weber, M. Cardona. Sol. St. Commun., **81**, 307 (1991).
- [7] Р.Ф. Витман, Л.М. Капитонова, А.А. Лебедев, А.Н. Старухин, Б.С. Разбирин. Письма ЖТФ, **19**, 10 (1993).
- [8] Б.Б. Логинов, В.П. Гайденко. Журн. прикл. спектроскопии, **31**, 126 (1979).

Редактор Т.А. Полянская