

УДК 549.211+548.0:536.537

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

В. И. ТРУБИН, П. И. ХУДАЕВ, Б. П. УСОЛЬЦЕВ, В. В. БЕСКРОВАНОВ
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОВУШЕК В ПРИРОДНЫХ АЛМАЗАХ
МЕТОДОМ ТЕРМОДЕПОЛЯРИЗАЦИИ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 25 V 1973)

Ловушки в кристаллах можно исследовать по-разному и, в частности, методами термостимулированных токов, термолюминесценции, фотопроводимости (1).

Для определения уровней прилипания в природных алмазах мы применили метод термодеполяризации. Исследования проводились на установке, описанной ранее (2). Алмаз под напряжением $U=100-2000$ в/см облучается светом с постоянной длиной волны λ_n , при которой имеется пик фотопроводимости. Этот процесс объемной поляризации проводится либо при

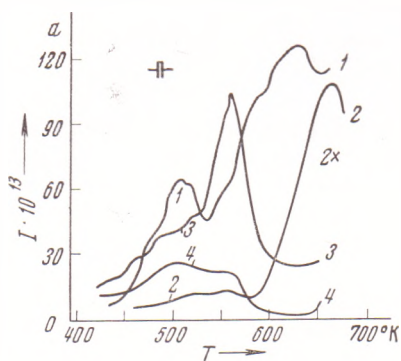


Рис. 1

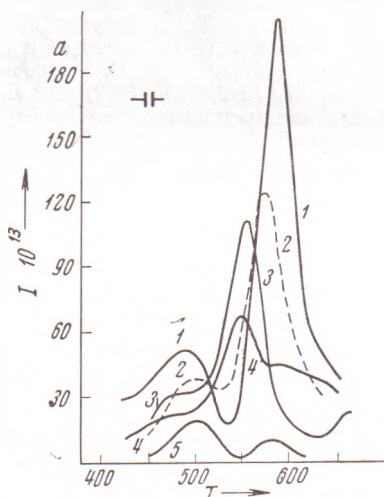


Рис. 2

Рис. 1. Ток термодеполяризации различных алмазов при $U=1000$ в/см; алмаз № 3124, $\beta=0,34^\circ/\text{сек}$, $\lambda_n=225$ мк (1); алмаз № 3003 (2), 3060 (3, 4), $\beta=0,27^\circ/\text{сек}$, $\lambda_n=231$ мк (2-4), облучение в течение 20 мин. при охлаждении от 700 до 293° К (1-3), при 313 (2) и 293° К (4)

Рис. 2. Ток деполяризации алмаза № 3060 при $U=1000$ в/см, $\lambda_n=275$ мк, облучение в течение 20 мин. при охлаждении от 700 до 293° К и различных β : 1 - $0,70^\circ/\text{сек}$, 2 - $0,56$; 3 - $0,31$; 4 - $0,27^\circ/\text{сек}$. 5 - облучение при 313° К, $\beta=0,56^\circ/\text{сек}$

постоянной температуре, либо при охлаждении от 700 до 300° К. При этом происходит разделение зарядов и захват последних ловушками. Снимается ток темновой деполяризации, а затем в отличие от фотодеполяризации (2) вместо облучения производится линейное нагревание кристалла, при этом в результате освобождения из ловушек носителей и наличия градиента в распределении зарядов в алмазе, возникает ток термодеполяризации (т.д.п.).

На рис. 1 и 2 приведены кривые т.д.п. для алмазов № 3060 (октаэдр с зеленой люминесценцией), № 3124 (октаэдр с голубовато-белесой люми-

несценцией) и № 3003 (октаэдр с ярко-голубой люминесценцией). Глубину ловушек, обусловивших максимумы и ступеньки на кривых т.д.п., можно приблизительно оценить по формуле ⁽³⁾

$$E_1 \approx 25kT_m = 2,15 \cdot 10^{-3} T_m, \quad (1)$$

где T_m — температура максимума, °К.

При возрастании скорости нагревания алмаза происходит сдвиг T_m в область высоких температур и возрастает величина тока термодеполяризации (рис. 2, табл. 1). Сдвиг T_m с изменением β затрудняет сравнение

Т а б л и ц а 1

Глубина ловушек у алмаза № 3060

Ловушка	β , °/сек	T_m , °К	E_1 , эв	E_2 , эв	E, эв	
					по (3)	по (4)
L_1	0,70	495	1,07	1,06	0,69	0,51
	0,56	490	1,05	1,04		
	0,31	478	1,03	0,99		
	0,27	458	0,99	0,91		
L_2	0,70	587	1,26	1,49	0,75	0,71
	0,56	573	1,23	1,42		
	0,31	555	1,19	1,32		
	0,27	548	1,17	1,30		

данных различных исследователей и, в частности, сравнение наших данных по т.д.п. с данными по термовысвечиванию алмазов.

В табл. 1 приведены данные для двух ловушек L_1 и L_2 алмаза № 3060 (рис. 2), рассчитанные методами, обычно применяемыми для анализа кривых термостимулированных токов. Энергию активации можно определить из формы пиков т.д.п. по методу, предложенному Луцником ⁽³⁾:

$$E_2 = kT_m^2 \delta_m^{-1}, \quad (2)$$

где δ_m — полуширина пика. Однако в ряде случаев из-за значительного перекрытия пиков т.д.п. (рис. 1, кривые 1, 4), определение E_2 затруднено. Для сравнения мы провели определение глубины ловушек другими методами ^(1, 3):

$$\ln \beta \approx -E(kT_m)^{-1} + \text{const}, \quad (3)$$

$$\ln (T_m^2 \beta^{-1}) \approx E(kT_m)^{-1} + \text{const}. \quad (4)$$

Глубина ловушек в этих методах определялась по наклону графика $\ln \beta$ или $\ln T_m^2 \beta^{-1}$ от T_m^{-1} (табл. 1). Как видно, глубина ловушек L_1 и L_2 , определенная по формулам (1) и (2), приблизительно в два раза больше глубины ловушек, определенной методами второй группы (по формулам (3), (4)).

Бьюб ⁽¹⁾ наблюдал аналогичные различия для кристаллов CdS. Эти различия, вероятно, обусловлены тем, что при выводе формул (3) и (4) пренебрегают зависимостью от температуры продолжительности жизни τ , сечения захвата S и тепловой скорости v носителей, а также плотностью состояний N_c в зоне проводимости вблизи запрещенной зоны.

В предположении, что наблюдаемые уровни захвата являются электронными ловушками, на основе экспериментальных данных (рис. 1, 2) мы провели расчет эффективных поперечных сечений захвата S_T электронов ловушками, их частотные факторы α_c и вероятности P_T освобождения электронов из ловушек глубиной E при температуре T для трех ловушек

Таблица 2

Расчетные значения α_e , S_T и P_T для трех пиков т.д.п., снятых при $\beta = 0,27^\circ/\text{сек}$

$T_m, ^\circ\text{K}$	$\delta_m, ^\circ\text{K}$	$E=E_2,$ эВ	$\alpha_e \cdot 10^{10},$ сек $^{-1}$	$S_T \cdot 10^{18} \text{ см}^2$		P_T			
				$T=300^\circ\text{K}$	$T=T_m$	$T=500^\circ\text{K}$	$T=600^\circ\text{K}$	$T=700^\circ\text{K}$	$T=T_m$
662	25	1,51	3,23	2,8	0,57	$2,02 \cdot 10^{-6}$	$8,15 \cdot 10^{-4}$	$6,15 \cdot 10^{-2}$	0,0122
619	23	1,43	5,53	4,8	1,13	$2,34 \cdot 10^{-5}$	$6,35 \cdot 10^{-3}$	$3,42 \cdot 10^{-1}$	0,0127
548	20	1,30	10,7	9,3	2,78	$8,9 \cdot 10^{-4}$	0,15		0,148

глубиной 1,51, 1,43 и 1,30 эВ (см. табл. 2). Величины α_e , S_T и P_T рассчитывались по формулам (¹, ³)

$$\alpha_e = \beta E (kT_m)^{-1} \exp(E/kT_m),$$

$$S_T = \alpha_e (v_e N_c)^{-1},$$

$$P_T = \alpha_e \exp(-E/kT).$$

Из табл. 2 видно, что S_T и P_T у более глубоких ловушек меньше. С ростом T величина S_T плавно уменьшается, тогда как величина P_T резко возрастает, что будет оказывать значительное влияние на заселенность ловушек различной глубины. В связи с этим, для увеличения степени заселенности ловушек, в особенности высокотемпературных, производилось заполнение их при охлаждении кристалла от 700 до 300° K (ср. кривые 3 и 4 на рис. 1 и кривые 2 и 5 на рис. 2).

Институт геологии Якутского филиала
Сибирского отделения Академии наук СССР
Якутск

Поступило
25 V 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Р. Бьюб, Фотопроводимость твердых тел, ИЛ, 1962. ² В. И. Трубиц, П. И. Худяев, Сборн. Алмазы, 10, 1971, стр. 6. ³ П. Бройлих, Сборн. Физика минералов, М., 1971, стр. 134.