

АПРОКСИМАЦІЯ ОСЦИЛЯЦІЙ ФРАНЦА–КЕЛДИША СПЕКТРІВ МОДУЛЯЦІЙНОГО ФОТОВІДБИВАННЯ ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВОК LT–GAAS, LT–(GA,MN)AS

Метод модуляційного фотовідбивання широко використовується для визначення фундаментальних параметрів напівпровідників і напівпровідникових гетероструктур в критичних точках їх зонної структури. Апроксимуючи спектри модуляційного фотовідбивання ми обчислювали параметри епітаксійних плівок LT–GaAs, LT–(Ga,Mn)As в області фундаментального переходу при зміні вмісту марганцю у них від 0% до 6%. Досліджувалось розщеплення валентної зони на підзони тяжких і легких дірок, зумовлене стискаючим напруженням в епітаксійних плівках LT–(Ga,Mn)As.

Спектр модуляційного фотовідбивання у випадку наявності у ньому осциляцій Франца-Келдиша можна описати функцією [1]

$$\frac{\Delta R}{R}(E) = \alpha \Delta \varepsilon_1 + \beta \Delta \varepsilon_2 \quad (1),$$

де

$$\Delta \varepsilon_1 = A \operatorname{Im} \left[\frac{H(z)}{(E - i\Gamma)^2} \right], \quad \Delta \varepsilon_2 = A \operatorname{Re} \left[\frac{H(z)}{(E - i\Gamma)^2} \right],$$

$$H(z) = 2\pi \left[e^{-\frac{\pi i}{3}} Ai'(z) Ai' \left(ze^{-\frac{2\pi i}{3}} \right) + ze^{-\frac{2\pi i}{3}} Ai(z) Ai \left(ze^{-\frac{2\pi i}{3}} \right) \right] + G(z),$$

$$G(z) = i \sqrt{\frac{E_0 - E + \sqrt{(E_0 - E)^2 + \Gamma^2}}{2\hbar\theta}} - \sqrt{\frac{-(E_0 - E) + \sqrt{(E_0 - E)^2 + \Gamma^2}}{2\hbar\theta}}, \quad z = \frac{E_0 - E}{\hbar\theta} + i \frac{\Gamma}{\hbar\theta}.$$

Тут $\Delta R/R$ – відносна зміна коефіцієнта відбивання, зумовлена модулюванням сигналу; E – енергія фотонів зондуючого випромінювання; $\Delta \varepsilon_1$ і $\Delta \varepsilon_2$ – зміни дійсної і уявної частини діелектричної функції відповідно, зумовлені модулюванням сигналу; α, β – так звані коефіцієнти Серафіна; A – амплітудний параметр; Γ – феноменологічний параметр розширення; E_0 – енергія відповідного переходу (E_{lh} чи E_{hh}); $\hbar\theta$ – так звана електрооптична енергія; через Ai та Ai' позначено функцію Ейрі та її похідну відповідно.

Враховуючи розщеплення валентної зони на підзони важких та легких дірок, спектри модуляційного фотовідбивання епітаксійних плівок LT–(Ga,Mn)As поблизу фундаментального переходу описуються сумою двох функцій типу (1), які відповідають енергетичним переходам з цих підзон валентної зони.

За допомогою апроксимації спектрів фотовідбивання засобами пакету MatLab визначались параметри апроксимації, зокрема, енергії переходів E_{lh} і E_{hh} та електрооптичні енергії $\hbar\theta_{lh}$ і $\hbar\theta_{hh}$, що відповідають підзонам легких та важких дірок відповідно. Досліджувались залежності цих фізичних величин від вмісту марганцю в епітаксійних плівках LT–(Ga,Mn)As.

Дослідження проводились за підтримки Фонду польської науки, Європейського фонду регіонального розвитку, Національної стратегії «Інноваційна Економіка».

Література:

1. O. Yastrubchak. Physical Review B, 83, 245201 (2011).